DESARROLLO DE SOFTWARE PARA CÁLCULOS DE CONDUCTOR ECONÓMICO PARA DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE USO FINAL

PROPONENTE

JHON HAROLD LUCUMI ORJUELA
Código: 20062007071
Correo electrónico: jhonhlucumi@gmail.com

PASANTÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

DIRECTOR INTERNO
IE., M.Sc., PhD. ADOLFO JARAMILLO

DIRECTOR EXTERNO
I.E. ELIZABETH ECHEVERRI MARÍN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
COLOMBIA, BOGOTÁ
2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN 6
2. INTRODUCCIÓN 8
3. OBJETIVO PRINCIPAL 10
4. MARCO TEÓRICO 10
4.1. RESISTENCIA ELÉCTRICA 10
4.2. EFECTO JOULE 13
4.3. REGLAMENTACIÓN Y DEFINICIONES 14
4.4. COSTO ECONÓMICO DEL CONDUCTOR 16
4.5. FORMULACIÓN MATEMÁTICA 17
4.5.1. COSTO DE INSTALACIÓN: 17
4.5.2. COSTO ENERGÉTICO: 21
4.5.3. COSTO TOTAL: 22
5. SOFTWARE, DESCRIPCIÓN DEL APLICATIVO 23
6. SEUDOCÓDIGO 29
7. DIAGRAMA DE FLUJO 34
8. CASOS DE USO 38
8.1. CASO 1: ALIMENTADOR LARGO 39
8.2. CASO 2: ALIMENTADOR CORTO 44
8.3. CASO 3: ALIMENTADOR MEDIO 49
9. CONCLUSIONES 57
10. RECOMENDACIONES 58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1, Resistencia en corriente directa en función de la temperatura. [1] 11
Ecuación 2, Área en unidades inglesas. [1] 11
Ecuación 3, Equivalencia área de unidades inglesas. [1]..... 11
Ecuación 4, Corrección de resistividad por temperatura. [1] 12
Ecuación 5, Resistencia efectiva de un conductor. [1] 13
Ecuación 6, Potencia disipada por efecto Joule. 14
Ecuación 7, Costo de Instalación de la acometida 17
Ecuación 8, Componente de costo de cable. 17
Ecuación 9, Componente de Mano de Obra. 18
Ecuación 10, Componente de costo de Herramienta y Equipo. 18
Ecuación 11, Costo Instalación sin dependencia de la empresa..... 19
Ecuación 12, Dependencia del precio del Neutro..... 19
Ecuación 13, Precio de la Tierra en Cond. Actual y Siguiente. 20
Ecuación 14, Costo de Instalación con fases. 20
Ecuación 15, Valor Presente del conductor para el año i..... 21
Ecuación 16, Valor Presente del conductor en su vida útil..... 21
Ecuación 17, total horas anuales. 21
Ecuación 18, Costo Total del Conductor. 22
Ecuación 19, Corriente de Carga. 35
Ecuación 20, % Caída de tensión. 35
Ecuación 21, Relación de transformación. 35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Comparación de la unidades del SI e inglesas para el cálculo de la resistencia de los conductores. [1] 12
Tabla 2, % de conductividad, resistividad y constante de temperatura de metales para conductores. [1]..... 12
Tabla 3, Variables económicas 34
Tabla 4, Variables Eléctricas. 34
Tabla 5, Variables del conductor. 34
Tabla 6, Variables de acometida. 35
Tabla 7, Constante corregida. 36
Tabla 8, Parámetros para los casos de uso. 38
Tabla 9, Variables para los casos de uso. 38
Tabla 10, Datos de entrada cálculo 1, Caso 1. 39
Tabla 11, Resumen del cálculo 1, Caso 1. 40
Tabla 12, Datos de entrada cálculo 2, Caso 1. 41
Tabla 13, Resumen del cálculo 2, Caso 1. 42
Tabla 14, Datos de entrada cálculo 3, Caso 1. 42
Tabla 15, Resumen del cálculo 3, Caso 1. 43
Tabla 16, Datos de entrada cálculo 1, Caso 2. 44
Tabla 17, Resumen del cálculo 1, Caso 2. 45
Tabla 18, Datos de entrada cálculo 2, Caso 2. 46
Tabla 19, Resumen del cálculo 2, Caso 2. 47
Tabla 20, Datos de entrada cálculo 3, Caso 2. 47
Tabla 21, Resumen del cálculo 3, Caso 2. 48
Tabla 22, Datos de entrada cálculo 1, Caso 3. 49
Tabla 23, Resumen del cálculo 1, Caso 3. 50
Tabla 24, Datos de entrada cálculo 2, Caso 3. 51
Tabla 25, Resumen del cálculo 2, Caso 3. 52
Tabla 26, Datos de entrada cálculo 3, Caso 3. 52
Tabla 27, Resumen del cálculo 3, Caso 3. 53
Tabla 28, Datos de entrada cálculo 4, Caso 3. 54
Tabla 29, Parámetros modificados para el cálculo 4, caso 3. 54
Tabla 30, Resumen del cálculo 4, Caso 3. 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, Comentarios de programador en el código. 23
Figura 2, Interfaz gráfica inicial del aplicativo. 24
Figura 3, “Tooltips” de la aplicación. 25
Figura 4, Parámetros eléctricos de entrada. 25
Figura 5, Ingreso de la Información del proyecto. 26
Figura 6, Vista preliminar para impresión. 27
Figura 7, Interfaz de los “textbox” izquierda y de los “combobox” derecha. 29
Figura 8, Mensaje de error generado por sobrecarga del conductor. 30
Figura 9, Mensaje de Información caída de tensión. 31
Figura 10, Gráfica, tabla y resumen del cálculo. 31
Figura 11, Ventana “Configuración de Parámetros Globales”. 32
Figura 12, Diagrama de flujo. 37
Figura 13, Resultados del cálculo 1, Caso 1. 40
Figura 14, Resultados del cálculo 2, Caso 1. 41
Figura 15, Resultados del cálculo 3, Caso 1. 43
Figura 16, Resultados del cálculo 1, Caso 2. 45
Figura 17, Resultados del cálculo 2, Caso 2. 46
Figura 18, Resultados del cálculo 3, Caso 2. 48
Figura 19, Resultados del cálculo 1, Caso 3. 50
Figura 20, Resultados del cálculo 2, Caso 3. 51
Figura 21, Resultados del cálculo 3, Caso 3. 53
Figura 22, Resultados del cálculo 4, Caso 3. 55

1. RESUMEN

Un conductor eléctrico es un cable o cualquier elemento dentro de una instalación eléctrica que permita llevar la energía eléctrica desde su fuente hasta donde la requiera el usuario; un conductor económico es aquel que genera el menor costo durante su vida útil al dueño de la red eléctrica cumpliendo con parámetros técnicos y de seguridad; debido a la inclusión en el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) del cálculo de conductor económico se realizó un software que sirva de herramienta al diseñador eléctrico, y que beneficie económicamente al usuario final de la instalación.

Una instalación de uso final es aquella destinada a proveer el servicio de energía eléctrica directamente al usuario, es decir, es el conjunto de tableros, sistemas de protección, canalizaciones y cableado que permiten la conexión de equipos eléctricos utilizados por el usuario, estos equipos operan con un nivel de tensión menor a 1 (un) kilovoltio.

Para el cálculo del conductor económico se tienen en cuenta dos costos, uno de ellos es el costo de instalar por ejemplo un cable; el otro costo se explica más fácilmente de esta manera; cuando el usuario de la instalación paga su servicio de energía eléctrica, un porcentaje corresponde a las pérdidas dentro del cable, este costo es en el tiempo y depende de la utilización del conductor. Al tener en cuenta ambos costos puede determinarse el costo del conductor o cable utilizado.

Para determinar el conductor económico se obtiene el costo del conductor utilizado y el costo del conductor inmediatamente superior, incluyendo el costo de instalación y el costo energético para ambos conductores. El conductor económico será aquel que tenga el menor costo de los dos y es el que deberá ser utilizado en el diseño eléctrico.

En la etapa de diseño, es decir, antes de la ejecución de la obra se realizan los cálculos eléctricos para seleccionar un cable o conductor, este cable debe ser cambiado si no es un conductor económico.

Cuando se instala un conductor económico se puede garantizar que el usuario pagará el menor costo posible durante la instalación y la utilización del cableado, también se garantiza que sea técnicamente adecuado, es decir, el conductor económico es el conductor optimo desde el punto de vista monetario y eléctrico.

El RETIE 2013 exigió a los diseñadores la selección de cables y conductores eléctricos económicos, con esto se buscó que el dueño o usuario de la red eléctrica pueda disminuir el costo que ve reflejado en su factura de servicio de energía eléctrica, también busca evitar la adecuaciones en las instalaciones que se traducen en inversiones monetarias de mayor o menor impacto según el tipo de proyecto. La necesidad de cumplimiento del cálculo del conductor económico motivó la realización de un software de fácil uso, capaz de generar un informe para el

Ingeniero o diseñador responsable del proyecto y que pueda ser presentado ante las entidades que lo solicitan.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un software para cálculo de conductor económico basado en el RETIE 2013 y orientado a ser utilizado en la empresa P&N Proyectos de Ingeniería LTDA. Para alcanzar este objetivo es necesario conocer claramente la metodología, necesidades y exigencias desde el punto de vista normativo y su aplicación de manera adecuada según el tipo de proyectos realizados por la empresa, por lo tanto se empleará la información técnica y los requerimientos de los operadores de RED como son CODENSA y la EEC (Empresa de Energía de Cundinamarca) en cuanto a la presentación y datos para el cálculo económico de conductores.

2. INTRODUCCIÓN

Todos los propietarios o usuarios de las instalaciones eléctricas asumen costos por pérdidas en los conductores eléctricos, estas pérdidas siempre estarán presentes pero con una adecuada selección económica de conductores pueden disminuirse, esta disminución se ve reflejada en el costo de facturación por energía eléctrica. Es obligatorio para los diseñadores eléctricos incluir el cálculo de conductor económico si así lo indica para la instalación el (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) RETIE 2013; el presente trabajo presenta un software que realiza el cálculo de conductor económico de acuerdo a los lineamentos del RETIE y está orientado para ser utilizado por profesionales electricistas y beneficiar al usuario de la instalación.

Un conductor eléctrico es un cable o cualquier medio que permita de manera segura transportar la energía eléctrica desde su fuente hasta el equipo o usuario que la requiera; el conductor eléctrico debe ser adecuado técnicamente antes de ser evaluado económicamente. Para determinar el costo total del conductor, se obtiene inicialmente el costo de su instalación que depende del precio del metro lineal del conductor y la longitud de este, una vez calculado es sumado con el resultado de calcular las pérdidas asociadas al uso del cableado o pérdidas energéticas, estas pérdidas son un porcentaje de la facturación correspondiente a pérdidas asociadas al calor dentro de los conductores de la instalación, este porcentaje se obtiene mediante una formulación matemática y según el precio del kilovatio hora (kWh) se obtiene el costo de pérdidas energéticas.

El cálculo del conductor económico es por tanto el resultado de sumar el costo de instalación con el costo por pérdidas energéticas del conductor seleccionado por diseño, una vez se conoce este costo se le denomina costo del conductor actual. Posteriormente se realiza la misma metodología para el conductor inmediatamente superior comercialmente, a este se le considera como costo del conductor siguiente, el conductor económico es aquel que tenga el menor costo entre el conductor actual y el conductor siguiente, de esta manera debido a las condiciones de la economía o condiciones de carga puede resultar más favorable el conductor siguiente.

La determinación del costo de instalación de un conductor eléctrico es un producto entre la longitud y el precio del cable, también puede incluir elementos de ductería, herrajes, mano de obra y equipo, en todos los casos su valor es siempre conocido y puede ser calculado de acuerdo a los precios establecidos para cada ítem.

El costo energético requiere para su cálculo variables económicas como la tasa de descuento, el precio del kilovatio hora, el factor de pérdidas y el número de años para los cuales se hará la proyección o estudio de pérdidas de energía, junto con las variables económicas es necesario conocer la resistencia eléctrica del conductor actual y el siguiente.

La resistencia eléctrica es inversa a la sección transversal del conductor esto quiere decir que un cable con un área de 35 mm^2 tendrá mayor resistencia eléctrica que uno de 70 mm^2, teniendo en cuenta que la resistencia influye en el costo energético, el conductor siguiente en todos los casos tendrá menos pérdidas por efecto Joule (calor) que el conductor actual; sin embargo, al seleccionar el conductor siguiente los costos de instalación serán mayores que el del conductor actual. Esto nos muestra que la selección económica del conductor no puede ser realizada de manera empírica o por observación.

Cuando se inicia un diseño eléctrico, el profesional responsable realiza los cálculos para garantizar que su cableado o conductores eléctricos soporten la corriente de la carga demandada por los equipos, posteriormente verifica que la caída de tensión esté en los rangos adecuados; la selección del conductor debía cumplir mínimo estas dos condiciones, capacidad de corriente y regulación de tensión, con la aparición del (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) RETIE 2013, se exigió incluir el cálculo económico de conductores eléctricos.

El software está diseñado para cálculo de conductores en baja tensión, es decir, tensiones menores a 1 (un) kilovoltio, los datos de entrada y la metodología está orientada a cumplir con el literal "*j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía"* del capítulo "*10.1.1 Diseño detallado"* del RETIE.

La necesidad de realizar memorias de cálculo para soportar técnicamente un diseño eléctrico y las exigencias normativas, han permitido emplear herramientas como hojas de cálculo o formatos en texto para la presentación de memorias ante las entidades que las solicitan, teniendo en cuenta la complejidad, cantidad de información y presentación es necesario utilizar herramientas que permitan realizar dichas memorias de cálculo con un nivel de mejora en cuanto a la confiabilidad, velocidad y muestra de resultados. Teniendo en cuenta lo anterior se realizó un software que permite en este caso calcular el conductor económico mediante un aplicativo soportado en un lenguaje de programación.

La presente pasantía se centrará en el cálculo del conductor económico en instalaciones de uso final con nivel de tensión uno, es decir, se realizará para baja tensión y estará orientado a proyectos de diseño eléctrico de tipo comercial y residencial; debido a que son los que la empresa P&N (Proyectos de Ingeniería LTDA) realiza frecuentemente. Se utilizaran conductores de cobre con aislamiento tipo HF, LS, FR (Libre de Halógenos, Baja emisión de Humos y Retardante a la Llama), debido a que tienen un mayor costo y por lo tanto permiten mostrar fácilmente la influencia del conductor sobre el costo total, el aplicativo generará un informe que hará parte integral del diseño detallado exigido por el RETIE.

3. OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar un software programado en Visual Studio 2015® que permita de una manera sencilla realizar la selección económica de un conductor enmarcando el análisis en los objetivos, lineamientos y exigencias del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 2013 (RETIE 2013).

Objetivos Específicos:

1. Plantear el software basándose en el RETIE 2013 y sus posteriores modificaciones.
2. Desarrollar una herramienta que permita al diseñador eléctrico calcular de manera intuitiva y fácil los costos asociados a la selección de un conductor.
3. Conocer el modelo de costos asociados a la instalación de acometidas eléctricas, incluyendo el precio del conductor, mano de obra, ducterías, elementos de acople, cajas de paso y todos aquellos elementos que puedan influir directamente sobre el costo.
4. Conocer la utilidad del aplicativo mediante casos de uso, incluyendo información real y coherente.

4. MARCO TEÓRICO

El cálculo del conductor económico requiere variables de origen eléctrico y económico, la resistencia eléctrica constituye la variable eléctrica que determina si el conductor siguiente puede ser seleccionado, pues según la resistencia pueden atribuirse pérdidas de potencia por efecto Joule.

Para tener una compresión del alcance y disposiciones de la normatividad es necesario conocer el marco legal del RETIE y sus definiciones.

Desde el punto de vista económico es importante definir conceptualmente y matemáticamente las variables, formulaciones y suposiciones que deben tenerse en cuenta para establecer el costo total de un conductor.

4.1. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Para poder determinar las pérdidas en un conductor es necesario conocer su resistencia y los parámetros adicionales que pueden afectar su comportamiento, a continuación se toma la definición de resistencia del libro Sistemas de Potencia, Análisis y Diseño de J. Duncan Glover [1].

La resistencia de cd *(corriente directa)* de un conductor a una temperatura especificada T es:

$$R_{cd,T} = \frac{\rho_T l}{A}\ \Omega$$

Ecuación 1, Resistencia en corriente directa en función de la temperatura. [1]

En donde:

ρ_T = resistividad del conductor a la temperatura T.

l = longitud del conductor.

A = área de la sección transversal del conductor.

Se puede observar en Ecuación 1 la dependencia de la resistencia de corriente directa de los parámetros de resistividad en función de la temperatura, longitud y área; si se asume como constante la temperatura y la longitud, la resistencia dependerá inversamente del área o sección transversal del conductor.

En la Tabla 1 se resume dos conjuntos de unidades de uso común para el cálculo de la resistencia, el SI y las unidades inglesas. En unidades inglesas, el área de la sección transversal del conductor se expresa en circular mils (cmil). Una pulgada es igual a 1000 mils y 1 cmil es igual a π/4 mil^2. Un circulo con diámetro de D in, o sea (D in)(100 mil/in)= 1000 D mil= *d* mil, tiene un área: [1]

$$A = \left(\frac{\pi}{4} D^2 in^2\right)\left(1000\frac{mil}{in}\right)^2 = \frac{\pi}{4}(1000\ D)^2 = \frac{\pi}{4} d^2\ mil^2$$

Ecuación 2, Área en unidades inglesas. [1]

Es decir,

$$A = \left(\frac{\pi}{4} d^2 mil^2\right)\left(\frac{1\ cmil}{\frac{\pi}{4}\ mil^2}\right)^2 = d^2\ cmil$$

Ecuación 3, Equivalencia área de unidades inglesas. [1]

La resistividad depende del metal de conductor. El cobre recocido es el estándar internacional para medir la resistividad *ρ* (o la conductividad *σ*, en donde *σ=1/ρ*). En la Tabla 2 se encuentra una lista de resistividad de los metales para conductores. Como se muestra, el aluminio estirado en frío, el cual tiene 61% de la conductividad de estándar internacional, tiene una resistividad a 20°C de 17.00 Ω cmil/ft, o bien, 2.83 x 10^{-8} Ωm. [1]

Tabla 1, Comparación de la unidades del SI e inglesas para el cálculo de la resistencia de los conductores. [1]

Cantidad	Símbolo	Unidades SI	Unidades Inglesas
Resistividad	ρ	Ωm	Ωcmil/ft
Longitud	l	m	ft
Área de la sección transversal	A	m^2	cmil
Resistencia de CD	$R_{dc} = \frac{\rho l}{A}$	Ω	Ω

Tabla 2, % de conductividad, resistividad y constante de temperatura de metales para conductores. [1]

		ρ 20° C		T
		Resistividad a 20 °C		Constante de temperatura
Material	% de conductividad	Ωm x 10-8	Ω cmil/ft	°C
Cobre				
Recocido	100.00%	1.72	10.37	234.5
Estirado en frio	97.30%	1.77	10.66	241.5
Aluminio				
Estirado en frio	61.00%	2.83	17	228.1
Latón	20-27%	6.4-8.4	38-51	480
Hierro	17.20%	10	60	180
Plata	108.00%	1.59	9.6	243
Sodio	40.00%	4.3	26	207
Acero	2-14%	32-88	72-530	180-980

La resistencia de los conductores depende de los factores siguientes:

1. La disposición en espiral.
2. Temperatura.
3. Frecuencia (“efecto piel”).
4. Magnitud de la corriente; conductores magnéticos.

Estas se describen en los párrafos siguientes.

Para los conductores trenzados, las capas alternadas de hilos describen espirales en direcciones opuesta para mantener los hilos unidos. La formación de la espiral hace que los hilos sean 1 o 2% más largos que la longitud real de conductor. Como resultado, la resistencia de cd de un conductor trenzado es 1 o 2% mayor que la calculada a partir de la Ecuación 1, para la longitud especificada del conductor. [1]

La resistividad de los metales para conductores varía linealmente sobre las condiciones normales de operación, de acuerdo con:

$$\rho_{T2} = \rho_{T1}\left(\frac{T_2 + T}{T_1 + T}\right)$$

Ecuación 4, Corrección de resistividad por temperatura. [1]

En donde ρ_{T2} y ρ_{T1} son las resistividades a las temperaturas T_2 y T_1 °C, respectivamente. T es una constante de temperatura que depende del material del conductor y se encuentra listada en la Tabla 2. [1]

La resistencia de ca *(corriente alterna)* o resistencia efectiva de un conductor es:

$$R_{ca} = \frac{P_{pérdida}}{|I|^2}\ \Omega$$

Ecuación 5, Resistencia efectiva de un conductor. [1]

En donde $P_{pérdida}$ es la pérdida real de potencia del conductor, en watts, e ***I*** es la corriente rms en el conductor. Para la cd, la distribución de la corriente es uniforme en toda la sección transversal del conductor y la Ecuación 1 es válida. Sin embargo, para la ca, la distribución de corriente no es uniforme. Conforme aumenta la frecuencia, la corriente en un conductor cilíndrico solido tiende a agolparse hacia la superficie del mismo, con menor densidad de corriente en el centro de este. Este fenómeno se conoce como *efecto piel*. Un conductor con un radio grande incluso puede tener una densidad oscilatoria de corriente como función de la distancia radial al centro del mismo. [1]

Al aumentar la frecuencia, aumenta la pérdida en el conductor, la cual, por la Ecuación 5, hace que se incremente la resistencia de ca. A las frecuencias de transmisión de potencia (60 Hz), la resistencia de ca es al menos un pequeño porcentaje más alta que la de cd. Normalmente, los fabricantes de conductores proporcionan la resistencia de cd, a 50 y 60 Hz de los conductores con base en datos de prueba. [1]

Para los conductores magnéticos, como los de acero usado para los hilos de guarda, la resistencia depende de la magnitud de la corriente. Los enlaces de flujo internos y, por lo tanto, las pérdidas en el hierro o magnéticas, dependen de la magnitud de la corriente. Para los conductores ACSR, el núcleo de acero tiene una resistencia relativamente elevada en comparación con la de los hilos de aluminio y, por lo tanto, el efecto de la magnitud de la corriente sobre la resistencia de este tipo de conductores es pequeño. [1]

4.2. EFECTO JOULE

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor con una resistencia específica produce una conversión de energía eléctrica en calorífica, este calor es intercambiado con el ambiente y por lo tanto esta energía no es aprovechada en el sistema eléctrico.

La potencia disipada por efecto Joule depende directamente de la corriente que circula por el conductor y de la resistencia de este, en la Ecuación 6 se muestra esta dependencia.

$$P_{disipada} = I^2 R$$

Ecuación 6, Potencia disipada por efecto Joule.

4.3. REGLAMENTACIÓN Y DEFINICIONES

El cálculo del conductor económico está incluido en el literal j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. Del capítulo 10.1.1 Diseño detallado del RETIE.

El cumplimiento del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 2013) es obligatorio para las instalaciones eléctricas incluidas en su alcance y para todos los diseñadores y constructores eléctricos, es requisito tener completa conformidad para la conexión del servicio de energía por parte del operador de red, para la realización de esta pasantía se tuvo en cuenta la resolución 90795 del 25 de julio del 2014 en donde se modificó en numeral 10.1 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS del artículo 10 REQUERIMIENTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS del Anexo General de la Resolución 90708 del 30 de agosto del 2013, se utiliza esta porque las posteriores resoluciones no hacen mención del diseño detallado o del cálculo económico de conductores.

A continuación se muestran las definiciones de los términos utilizados en esta pasantía.

Clasificación de los niveles de tensión: El artículo 12 del RETIE define los niveles de tensión así:

*Para efectos del presente reglamento, se estandarizan los siguientes niveles de tensión para sistemas de corriente alterna, los cuales se adoptan de la **NTC 1340**:*

a) ***Extra alta tensión (EAT):** Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.*
b) ***Alta tensión (AT):** Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.*
c) ***Media tensión (MT):** Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.*
d) ***Baja tensión (BT):** Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.*
e) ***Muy baja tensión (MBT):** Tensiones menores de 25 V.*

Toda instalación eléctrica objeto del RETIE, debe asociarse a uno de los anteriores niveles. Si en la instalación existen circuitos en los que se utilicen distintas tensiones, el conjunto del sistema se clasificará, en el grupo correspondiente al valor de la tensión nominal más elevada. [2], Para el desarrollo del Software de esta pasantía se utilizarán instalaciones en Baja tensión (BT) de corriente alterna (CA).

Instalación de uso Final: El RETIE la define como sigue, *"Las instalaciones para uso final de la electricidad, denominadas comúnmente como instalaciones interiores o instalaciones domiciliarias o receptoras, son las que están alimentadas por una red de distribución o por una fuente de energía propia y tienen como objeto permitir la entrega de la energía eléctrica al usuario. Dentro de este concepto queda incluida cualquier instalación receptora aunque toda o alguna de sus partes esté situada a la intemperie."* [2], Se entiende como instalación de uso final al conjunto de elementos que garanticen la seguridad, y la continuidad del servicio de energía eléctrica a los equipos en baja tensión que son utilizados directamente por los usuarios.

Diseño Detallado: corresponde al diseño de una instalación eléctrica que tenga algunas de las siguientes características:

- Ambientes o Equipos Especiales.
- Transformador de potencia o capacidad instalable superior o igual a 15 kVA.
- Tensión de servicio mayor a 240V.
- Proyectos que por su dimensión o impacto en la red independiente de su categoría requieran cálculos a profundidad de uno o varios ítems incluidos en el Diseño Detallado.

Capacidad Instalable: El RETIE utiliza la siguiente definición, *"Se considera como capacidad instalable, la capacidad en kVA que puede soportar la acometida a tensión nominal de la red, sin que se eleve la temperatura por encima de 60 ºC para instalaciones con capacidad de corriente menor de 100 A o de 75 °C si la capacidad de corriente es mayor."* [2], en términos prácticos la capacidad instalable es la máxima carga conectada en determinada configuración monofásica o polifásica en la cual circula la corriente nominal del conductor sin aumentar su temperatura por encima de los valores establecidos.

Acometida: La siguiente definición se emplea en el RETIE, *"Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. En aquellos casos en que el dispositivo de corte esté aguas arriba del medidor, para los efectos del presente reglamento, se entenderá la acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el punto de conexión eléctrico al sistema de uso general (STN, STR o SDL) y los bornes de salida del equipo de medición."* [2], la acometida es el grupo de conductores entre el punto de conexión del operador de red y la medida del usuario independiente del nivel de tensión.

Alimentador: La NTC 2050 utiliza la siguiente definición, *"todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de un sistema derivado independiente u otra fuente de suministro de energía eléctrica y el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito ramal final."* [3], de manera general se

considera como alimentador al grupo de conductores que entregan la potencia a tableros o protecciones individuales.

4.4. COSTO ECONÓMICO DEL CONDUCTOR

El costo económico de un conductor es el valor en pesos colombianos $COP que puede atribuirse a la instalación y utilización de un conductor o grupo de conductores en un tiempo establecido.

Para determinar el costo de un conductor es necesario conocer los componentes de este, uno de los cuales se considera fijo y se denomina costo inicial, el otro componente depende de la utilización de la instalación en el tiempo y se define como costo energético, sus definiciones se muestran a continuación:

Costo Inicial:

El costo inicial es aquel en que incurre el propietario o poseedor de una red cuando debe instalar equipos o elementos para soportar, proteger o canalizar los conductores, en instalaciones de uso final, es decir aquellas con nivel de tensión menor a 1 kV la mayoría de los conductores son subterráneos y el mantenimiento que se realiza a estas redes se hace en tableros y pocas veces sobre los mismos conductores, en estos casos puede asumirse el costo de instalación más significativo que el de mantenimiento y operación, por lo anterior puede considerarse el costo de instalación como un valor único que no cambia en el tiempo.

Costo Energético:

El costo energético es el que se ve influenciado directamente por la naturaleza y comportamiento de la carga en un tiempo establecido, para calcular este costo es necesario determinar la utilización de la instalación, el precio del kWh de acuerdo al tipo de usuario, las pérdidas, y la configuración de los conductores, es decir su material y el número de fases.

4.5. FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El costo económico total de un conductor es el resultado de sumar su costo de instalación y el costo de las perdidas energéticas, a continuación se explica la formulación matemática de ambos costos.

4.5.1. COSTO DE INSTALACIÓN:

Para la obtención del costo de instalación es necesario establecer de manera previa la incidencia del calibre de la acometida o alimentador a instalar en el costo de la mano de obra y la utilización de herramienta y equipo, la fórmula que se muestra en la Ecuación 7 corresponde a un modelo utilizado en la empresa P&N Proyectos de Ingeniería, adicionalmente se muestra su componente de cable en la Ecuación 8, el de mano de obra en la Ecuación 9 y el de herramienta y equipo en la Ecuación 10, esta formulación depende de la eficiencia económica de la empresa y su modelo de costos:

$$Cost\ Inst\ Acom = comp\ cable + comp\ MO(F,N,T,TA) + comp\ H + EQ(F,N,T,TA)$$

Ecuación 7, Costo de Instalación de la acometida

Donde;

comp cable= es la componente del cable mostrada en la Ecuación 8.

comp MO= es la componente de mano de obra mostrada en la Ecuación 9.

comp H+EQ= es la componente de herramienta y equipo mostrada en la Ecuación 10.

F=indica el conductor de fase.

N=indica el conductor de neutro.

T=indica el conductor de tierra.

TA=indica el conductor de tierra aislada.

$$comp\ cable = l * (\#F \times \$cal(F) + \#N \times \$cal(N) + \#T \times \$cal(T) + \#TA \times \$cal(TA)$$

Ecuación 8, Componente de costo de cable.

Donde;

l=longitud de la acometida en metros lineales de la acometida o alimentador.

#=número de cables para cada arreglo de acometida o alimentador.

$cal=precio por metro lineal del conductor según sus características como son de aislamiento y material en pesos colombianos.

$$comp\ MO = Inc * \$Costo\ hora\ hombre$$

Ecuación 9, Componente de Mano de Obra.

Donde;

Inc=es la incidencia que tiene el arreglo de la acometida sobre el cálculo del costo de hora hombre, se toma como un factor, su cálculo y determinación depende del estudio de costos y eficiencia de cada empresa.

$Costo hora hombre=es el precio que paga la empresa por cada hora laborada por un empleado en pesos colombianos.

$$comp\ H + EQ = Inc * \$Costo\ hora\ herr\ y\ equ$$

Ecuación 10, Componente de costo de Herramienta y Equipo.

Donde;

Inc=es la incidencia que tiene el arreglo de la acometida sobre el cálculo del costo de herramienta y equipo, se toma como un factor, su cálculo y determinación depende del estudio de costos y eficiencia de cada empresa.

$Costo hora herr y equ=es el precio que paga la empresa por la estimación de utilización de herramientas y equipo para la instalación de la acometida o alimentador en pesos colombianos.
Adicionalmente a los costos de la acometida o alimentador debe tenerse en cuenta el costo de las canalizaciones y de las bornas o terminales de conexión:

Ductería: todos los conductores eléctricos que transporten corriente eléctrica en condiciones normales y de falla deben estar en un conduit o ductería que proteja al conductor o conductores de daños físicos, de la humedad y según el tipo de instalación sea a prueba de fuego, este conduit puede ser del tipo PVC, IMC o EMT en los casos generales, también pueden ser canaletas u otro tipo de arreglo, en el caso de la ductería se puede observar fácilmente que el aumento de conductores en cantidad o calibres es directamente proporcional a la selección del ducto, pues por normatividad no puede tenerse una ocupación mayor del 40% cuando se tengan 2 o más conductores portadores de corriente dentro de un conduit.

Cajas en Mampostería y/o Metálicas: en la construcción de redes eléctricas subterráneas o sobrepuestas en techos es necesario construir cajas en mampostería o la instalación de cajas metálicas para facilitar las derivaciones a tableros o equipos y para el halado de cables, por lo anterior el número de cajas y sus dimensiones dependen de las necesidades del proyecto en general y no de una acometida en particular, por lo tanto este costo no se tiene en cuenta para el cálculo

de la acometida debido a la imposibilidad de asociarlo con esta, en la práctica este costo se saca independiente o por formulación empírica.

Bornas o terminales de conexión: Para la correcta conexión mecánica de las acometidas o alimentadores es necesario instalar en sus extremos bornas o terminales de conexión, estas varían según el calibre, el uso y el material del conductor, por lo anterior se pueden tomar como costos directos asociados a la acometida, es decir son directamente proporcionales.

De acuerdo a lo anterior se puede observar que la componente de cable depende de los precios del mercado, las componentes de mano de obra, de herramienta y equipo dependen de la dinámica de la empresa. Si consideramos por lo tanto una empresa que varíe estos costos en función lineal según el conductor se puede determinar la diferencia de precios entre un conductor y el siguiente omitiendo en la formula las componentes dependientes de la empresa, quedando el costo de la acometida o alimentador mostrado en la Ecuación 11, la utilización de esta fórmula nos permite generalizar los cálculos y simplificar el número de variables, pues como se menciona anteriormente la obtención de la Incidencia de la hora hombre y de la herramienta corresponden a un ejercicio económico que compete exclusivamente a la empresa encargada de ejecutar el presupuesto o la obra.

$$Cost\ Inst\ Acom = comp\ cable$$

Ecuación 11, Costo Instalación sin dependencia de la empresa.

Debe tenerse en cuenta que el Software **NO** tiene como finalidad establecer si una acometida o alimentador es eléctricamente seguro o si está correctamente calculado, el objetivo es solamente determinar si el conductor seleccionado en la etapa de diseño es adecuado económicamente.

Para el software **NO** se tendrán en cuenta los conductores de neutro, tierra y tierra aislada debido a que el efecto de los precios de estos conductores no afecta el comportamiento del precio total de instalación.

El aplicativo asumirá siempre el calibre del neutro igual al calibre de las fases, esto quiere decir que para el comparativo entre el conductor actual y el siguiente siempre existirá la misma proporcionalidad asociada al número de fases. Para la determinación del calibre del conductor de tierra o tierra aislada se tiene en cuenta la protección que tengan las fases, esto quiere decir que para el comparativo económico el precio de la tierra o tierra aislada será el mismo en el conductor actual y siguiente, la Ecuación 12 muestra la dependencia del precio del neutro y la Ecuación 13 muestra el precio de la tierra para ambos conductores.

$$Precio\ de\ Neutro\ (\$\ COP) = \frac{Precio\ Total\ fases\ (\$\ COP)}{Número\ de\ fases}$$

Ecuación 12, Dependencia del precio del Neutro.

$$Precio\ Tierra\ (\$\ COP)Cond.Actual = Precio\ \ Tierra\ (\$\ COP)Cond.Siguiente$$

Ecuación 13, Precio de la Tierra en Cond. Actual y Siguiente.

Por lo anterior el costo de instalación que se utilizará en el código de programación es el de la Ecuación 14, es decir se tendrán en cuenta solamente los conductores de fases para los cálculos, la no inclusión de los demás conductores afecta solamente el precio real de la acometida o alimentador, sin embargo, no afecta la evaluación del comparativo entre el conductor actual y el siguiente.

$$\boldsymbol{Cost\ Inst\ Acom\ = l * \left(\#F \times \$cal(F)\right)}$$

Ecuación 14, Costo de Instalación con fases.

Donde;

l=longitud de la acometida en metros lineales de la acometida o alimentador.

#F=número de fases para cada arreglo de acometida o alimentador.

$cal(F)=precio por metro lineal del conductor de fase según sus características como son de aislamiento y material en pesos colombianos.

4.5.2. COSTO ENERGÉTICO:

La componente del costo energético o pérdidas de potencia activa por efecto Joule para el desarrollo del Software es la denominada "*ecuación número 5"* incluida en el capítulo V del libro "*Instalaciones Eléctricas"* del autor Carlos Mario Díez Henao:

$$VP = 8.76 \times N \times I_0^2 \times R \times l \times FP \times K_e \times \frac{1}{(1+t)^i}$$

Ecuación 15, Valor Presente del conductor para el año i

Esta ecuación se utiliza para conocer el valor el Valor Presente del conductor para el año i, en la realización del software se utiliza por defecto un periodo de 15 años, porque este es el estimado de vida útil de un conductor, sin embargo, es posible modificar este periodo por otro valor según requiera el análisis, la Ecuación 16 muestra la formula generalizada para todos los periodos o años utilizada en el desarrollo del aplicativo.

$$\boldsymbol{VP = 8.76 \times N \times I_0^2 \times R \times l \times FP \times K_e \times \sum_{1}^{i} \frac{1}{(1+t)^i}}$$

Ecuación 16, Valor Presente del conductor en su vida útil

Donde;

***Constante 8.76*=** Esta constante representa el número de horas que tienen un año de 365 días, de acuerdo a la Ecuación 17 debe ser 8760, este valor es dividido en 1000 debido a que cuando se calcula las pérdidas por efecto Joule estas dan en VA (voltiamperios) y deben multiplicarse por 0.001 para obtener kVA (kilovoltiamperios).

$$8760\ horas = 24\text{horas} \times 365\ \text{días}$$

Ecuación 17, total horas anuales.

***N*=** Es el número de fases de la acometida o alimentador, es la cantidad de fases (conductores no puestos a tierra) del arreglo.

***I_0*=** Es la corriente demanda por la carga en A (amperios), depende del número de fases, el nivel de tensión y la carga.

R*=** Es la resistencia del conductor de acuerdo a las condiciones de nivel de tensión y numero de fases, el software utiliza los valores indicados en el documento ***"CONSTANTES DE REGULACIÓN DE CABLES MT Y BT" suministrado por CODENSA S.A. E.S.P en la página 3, con un nivel de tensión de 208/120 V, material Cobre y configuración tetrafilar (4 hilos), trifásica.

***l*=** Es la longitud en m (metros) lineales de la acometida o el alimentador, esta es necesaria para encontrar la resistencia total.

***FP*=** Factor de Pérdidas, es el porcentaje que se asocia con la utilización de la instalación durante el día; un usuario que consuma la corriente I_0 durante las 24 horas tendrá un FP del 100%, el factor de pérdidas está normalmente entre el 20 % y 40%.

***K_e*=** Es el precio del kWh (kilovatio-hora) en pesos colombianos, este precio varía de acuerdo al operador de red, la región y el tipo de usuario, normalmente su precio está entre $COP 400 y $COP 500.

***i*=** Es el número de años o periodos para los cuales se hará el cálculo de costo energético, con frecuencia se usa un periodo de 15 años debido a que esta es la estimación de vida útil de conductor.

***t*=** Es la tasa de descuento que se utiliza en la proyección, una tasa de descuento baja indicará un comportamiento anormal y unas condiciones de mercado insostenibles para el pago en el tiempo de este costo, las tasas para estas proyecciones están entre el 10 % y 20 %.

4.5.3. COSTO TOTAL:

Al obtener el costo de instalación Ecuación 14 y el costo de pérdidas energéticas del conductor Ecuación 16, se suman estos dos valores y el resultado es el costo TOTAL del conductor, esta formulación será utilizada en el programa y se muestra en la Ecuación 18.

$$\boldsymbol{Costo\ Total} = \boldsymbol{l} * \left(\#\boldsymbol{F} \times \$\boldsymbol{cal}(\boldsymbol{F})\right) + \mathbf{8.76} \times \boldsymbol{N} \times \boldsymbol{I_0^2} \times \boldsymbol{R} \times \boldsymbol{l} \times \boldsymbol{FP} \times \boldsymbol{K_e} \times \sum_{\mathbf{1}}^{\boldsymbol{i}} \frac{\mathbf{1}}{(\mathbf{1}+\boldsymbol{t})^{\boldsymbol{i}}}$$

Ecuación 18, Costo Total del Conductor.

5. SOFTWARE, DESCRIPCIÓN DEL APLICATIVO

El aplicativo está diseñado en Visual Studio 2015® que hace parte del paquete de herramientas programacionales de Microsoft®, su descarga es gratis y para utilizar el programa de manera ilimitada en un equipo solo es necesario una cuenta Microsoft®. Se utilizó Visual Studio 2015® por su facilidad para implementar aplicaciones de escritorio y por la instrucción en el programa que se realiza en el espacio académico de la universidad Distrital Francisco José de Caldas, el algoritmo de programación al igual que la interfaz y utilización del programa se conciben para ser intuitivos, esto quiere decir que un usuario con poca experiencia o poco conocimiento del programa pueda aprender a manejarlo de manera eficiente en poco tiempo.

El software *"Cálculo Económico de Conductor"* es una aplicación de escritorio para computadores en lenguaje de programación C#, que se comunica con una base de datos de Microsoft Access®, y genera resultados que pueden ser impresos o guardados en formato PDF (*Portable Document Format),* por sus siglas en inglés o Formato de Documento Portátil.

El código de programación utiliza las clases y objetos de C#, este código es desarrollado completamente por el estudiante de ingeniería eléctrica Jhon Harold Lucumi Orjuela y su propietario es la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

El programa se fundamenta en una sencilla formulación matemática que se muestra en la Ecuación 18, que incluye parámetros económicos y variables que dependen de las características eléctricas de la acometida o el alimentador, todo el código se encuentra con comentarios en color verde en idioma español para servir como guía para la implementación de programas con similares requerimientos o con fines académicos, una captura de pantalla es mostrada en la Figura 1.

```
//impresión de los componentes y TOTAL del costo del conductor actual
label32.Text = string.Format("$ {0:0,0}", costinta1);//costo instalación
label33.Text = string.Format("$ {0:0,0}", costenerg1);//costo Energético
label35.Text = string.Format("$ {0:0,0}", Perd1);//costo TOTAL

//impresión de los componentes y TOTAL del costo del conductor siguiente
label41.Text = string.Format("$ {0:0,0}", costinta2);//costo instalación
label39.Text = string.Format("$ {0:0,0}", costenerg2);//costo Energético
label37.Text = string.Format("$ {0:0,0}", Perd2);//costo TOTAL
```

Figura 1, Comentarios de programador en el código.

El software *"Cálculo Económico de Conductor"* mostrado en la Figura 2, es una aplicación académica con una interfaz sencilla e intuitiva que permite realizar la selección de conductores eléctricos de acuerdo al criterio económico, también realiza un análisis técnico informando al usuario de posibles errores o

inconsistencias generadas por la incorrecta introducción de los datos o inadecuado análisis de las condiciones de diseño.

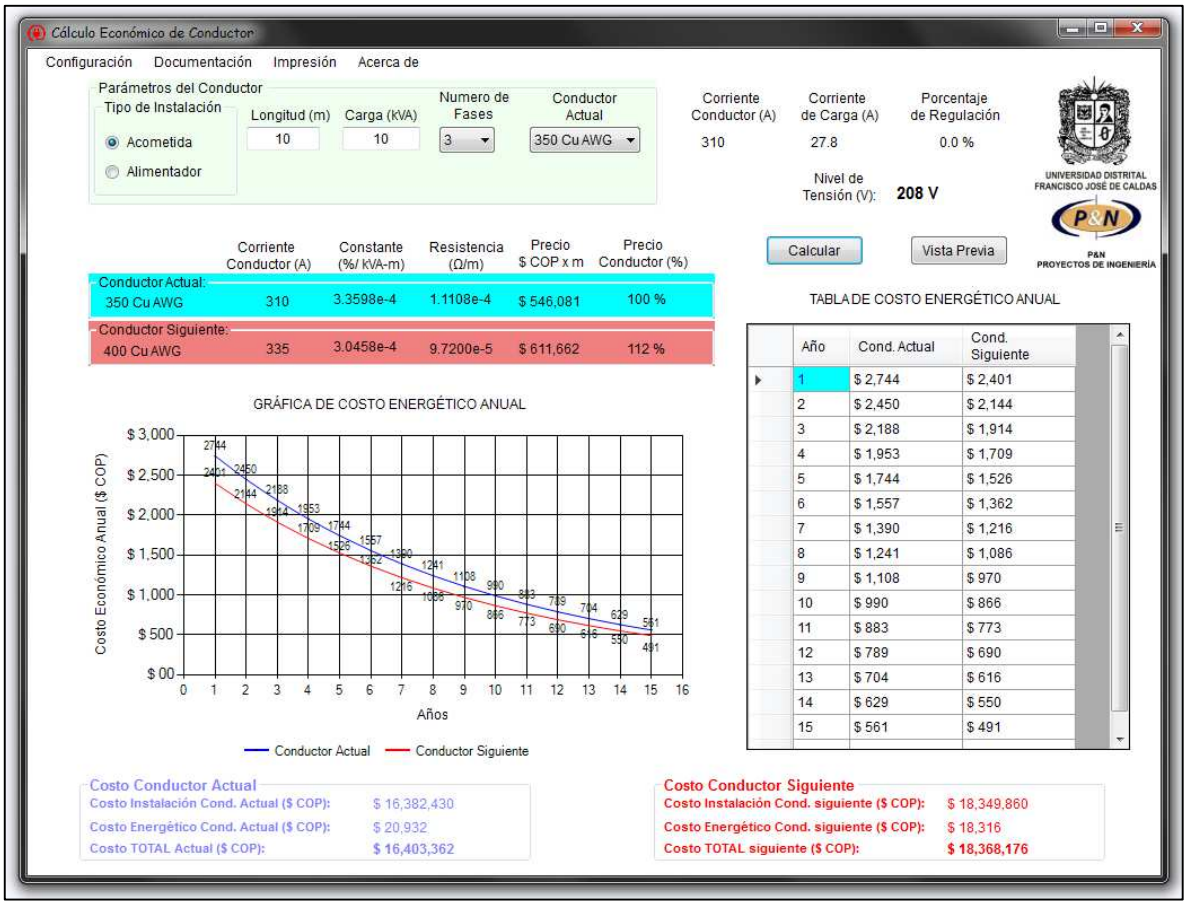


Figura 2, Interfaz gráfica inicial del aplicativo.

La aplicación permite ingresar los parámetros de cálculo y de presentación final del informe, además proporciona información adicional de cada parámetro simplemente pasando el puntero del ratón sobre el nombre, se muestra un ejemplo en la Figura 3.

El acceso a los conductores se realiza mediante una base de datos en Microsoft Access que incluye la información del precio de cada conductor por metro lineal de cobre utilizado para realizar los presupuestos de la empresa, también incluye las características eléctricas de corriente nominal, constante de regulación y resistencia, una vez realizado el análisis permite la impresión del documento en la impresora que se seleccione o en el visor de archivos PDF que tenga el equipo.

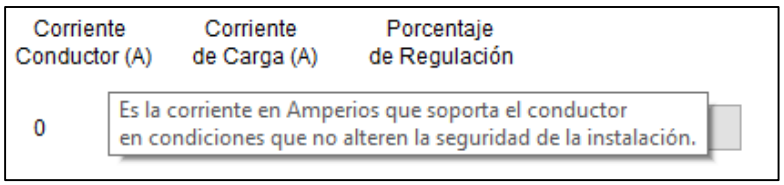


Figura 3, "Tooltips" de la aplicación.

El software está concebido para formar parte del Diseño Detallado y brindar información completa y amplia del cálculo de conductor económico.

El aplicativo se fundamenta en las exigencias del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2013 y específicamente el literal j "Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía" de Diseño Detallado, este software no pretende definir los lineamientos de diseño del responsable de la instalación, su finalidad es la de establecer de manera adecuada la selección de los conductores empleados en la instalación según el criterio económico; sin embargo debido a la responsabilidad derivada del diseño eléctrico la aplicación informará de las incoherencias encontradas y en caso de no ser corregidas **NO** permitirá la impresión de informes con alteraciones o errores.

La aplicación presenta la interfaz de la Figura 4 que sirve para ingresar las variables dependientes del diseño eléctrico, que a su vez permite realizar cálculos rápidos sin necesidad de pedir información adicional esta función se explicara más adelante.

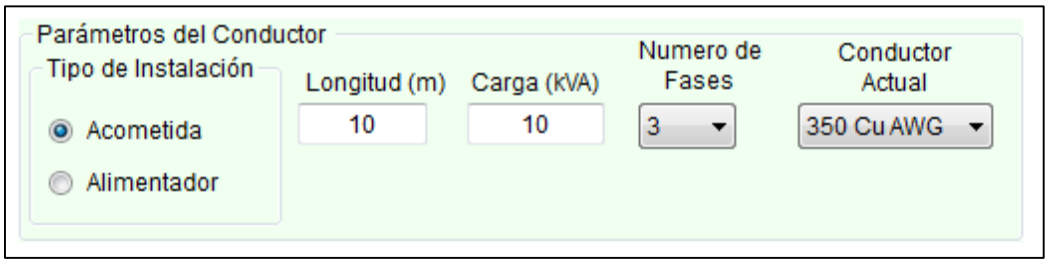


Figura 4, Parámetros eléctricos de entrada.

El aplicativo captura la información, posteriormente realiza una validación técnica de los datos ingresados, cuando los parámetros de entrada son correctos genera los resultados y permite su impresión, a continuación se explica de manera general el funcionamiento del programa:

1. Se verifica que la información corresponda con el tipo de dato ingresado, esto quiere decir que se valida que se ingresen números con los caracteres de puntación y signo adecuado, el programa reconoce solamente el punto "." como decimal.

2. Se valida las características eléctricas como son capacidad de corriente y regulación en este punto el software puede recomendar soluciones basadas

en el tipo de configuración y la carga, es necesario que todos los errores originados en este paso sean corregidos por el usuario, de lo contrario el programa evita la impresión de resultados con errores técnicos debido a las implicaciones reales que conllevaría la selección de un conductor erróneo, aunque este no haya sido observado en la etapa de diseño.

3. Una vez se ha confirmado técnicamente el conductor el programa muestra su comparativo con el conductor siguiente, y muestra un pequeño resumen y una gráfica producto de la comparación anual de ambos conductores.

4. En caso de que el usuario solo quisiera conocer rápidamente si su conductor es el adecuado puede cerrar la aplicación en este punto, si quiere realizar un informe es necesario rellenar el formulario de *"Información del Proyecto"* en el menú *"Configuración"* que despliega la ventana de la Figura 5.

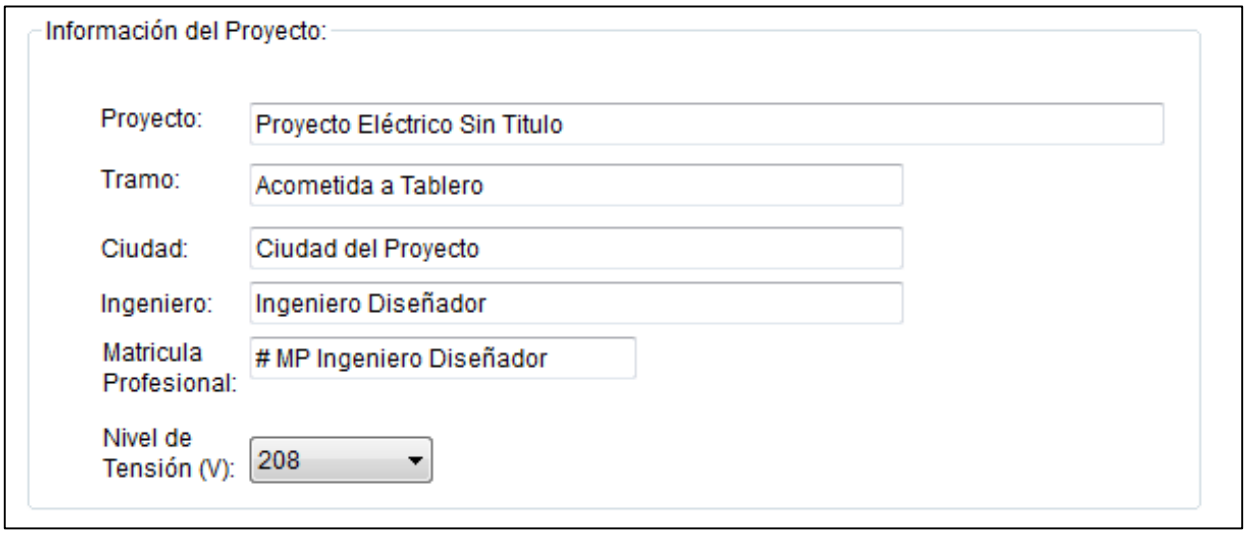


Figura 5, Ingreso de la Información del proyecto.

5. Luego de completar el formulario el usuario puede realizar una impresión del informe en el menú de Impresión bien sea a una impresora local, de red o a una impresora virtual que admita formato PDF, en la Figura 6 se muestra la vista preliminar del informe.

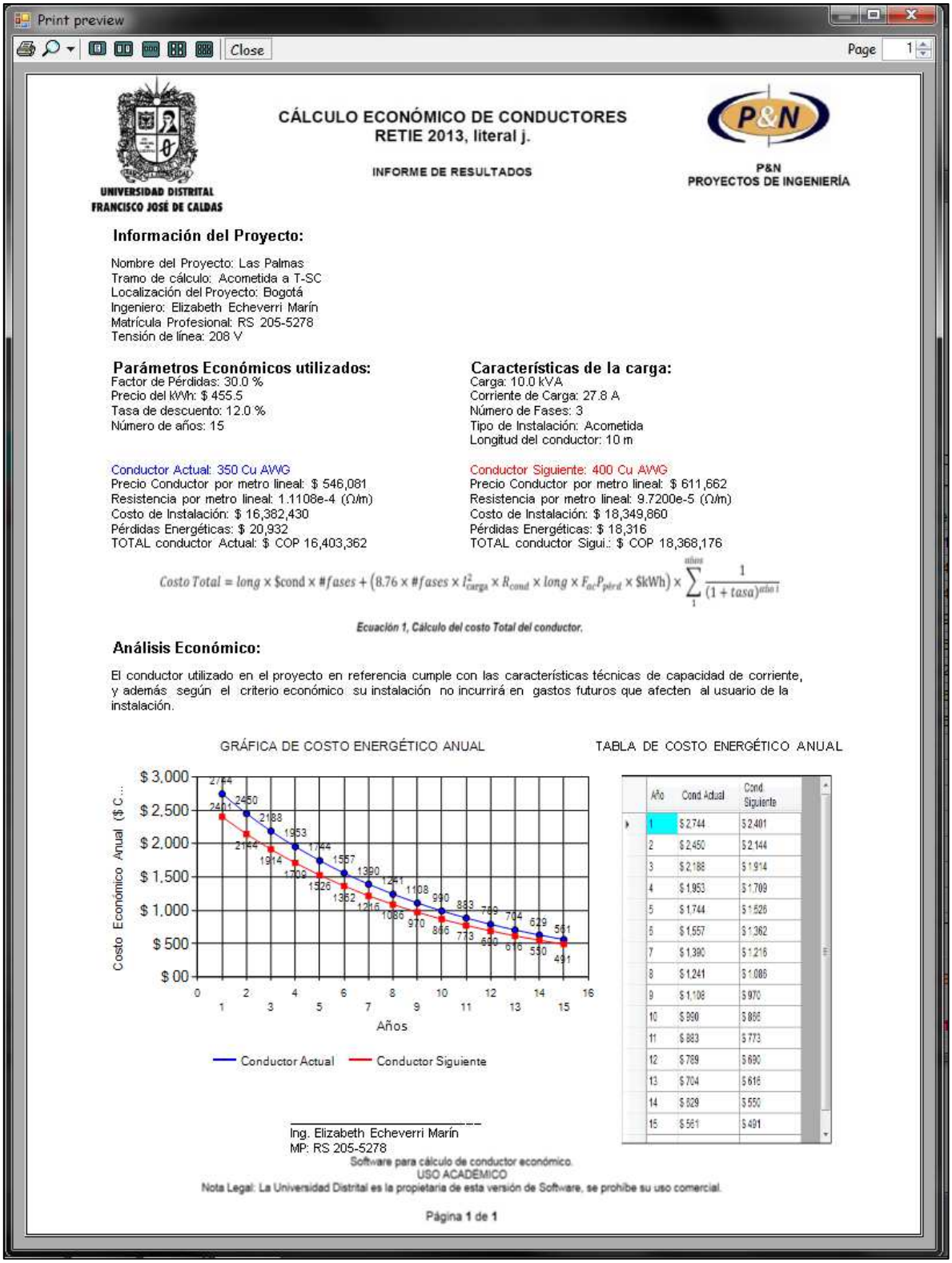


Figura 6, Vista preliminar para impresión.

A continuación se muestran algunas características importantes tomadas del manual del usuario el cual está incluido en la documentación de la aplicación:

El Software funciona de manera simple, cuando se instala en determinada ubicación coloca en esta misma los recursos que utiliza como son manuales en formato PDF y una base de datos en Access® este último no requiere estar instalado en el equipo.

La base de datos en Access® aloja la información de los conductores y de los parámetros económicos, cuando se inicia el aplicativo se confirma la existencia y tablas de la base de datos pero no la integridad de estos, esto quiere decir que un usuario puede alterar la información contenida y esencialmente cambiar el tipo, los precios y organización de los conductores, si la finalidad de modificar estos valores es enriquecer o actualizar la información el software funcionara de manera normal, en caso que la modificación se realice para ingresar información errónea o maliciosa el programa a su vez mostrara errores y resultados indeseables o ilógicos, es importante aclarar en este punto que la responsabilidad del programador solamente compete el diseño, verificación y control de errores y excepciones y no de los resultados, esto se debe a que la concepción de programa es con finalidad académica y no comercial, **la alteración de la base de datos y la posterior impresión de informes son responsabilidad únicamente del profesional que con su firma, nombre y matricula profesional aparezca en estos.**

6. SEUDOCÓDIGO

Un seudocódigo es la representación verbal del funcionamiento de un código en determinado lenguaje de programación, sirve para explicar de manera sencilla y descriptiva los pasos, cálculos, relaciones, conexiones y demás interacciones que tiene un aplicativo.

En la realización de un programa se tienen en cuenta las reglas básicas del lenguaje como son la sintaxis, los tipos de archivos y los requerimientos, además la implementación de la solución del problema propuesto trae consigo tareas adicionales para el programador como son el correcto diseño de la interfaz, el conocimiento amplio del producto a desarrollar y en este aspecto es esencial que exista un nivel alto de conocimiento en ambas tareas pues el programador debe abstraer solamente la información necesaria basada en la experiencia del usuario que lo requiere; si se desconoce uno o varios pasos del proceso es imposible generar un algoritmo confiable.

A continuación se explicaran los eventos que se realizan al interior del programa:

1. El aplicativo pregunta inicialmente por la existencia de la base de datos, como se menciona anteriormente verifica solo su ubicación y nombre, en caso de no corresponder muestra al usuario un error con la información de lo que pudo haber generado y su posible solución a continuación cierra el programa.

2. Luego de iniciar el programa de manera normal muestra la interfaz del usuario con unos campos conocidos como *"textbox"* que son espacios que permiten la escritura libre de caracteres mediante un teclado, y *"combobox"* que son botones que permiten desplegar texto que no puede ser modificado, su selección se hace mediante el puntero del ratón o mediante atajos de teclado, estos campos son los de la Figura 7.

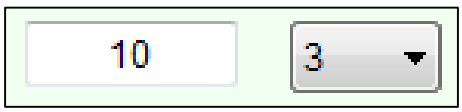


Figura 7, Interfaz de los "textbox" izquierda y de los "combobox" derecha.

3. Se realiza validación de la información de manera detallada así:

   3.1. Tipo de ingreso en los *"textbox"*, se verifica que en los campos de números solo se ingresen en formato adecuado, es decir sin signos, mayores a cero y con la separación de decimales correspondiente a la configuración del idioma del teclado.

   3.2. Los campos correspondientes a *"combobox"*, son definidos por la base de datos por lo que solamente se asumen como valores de lectura que pueden ser modificados directamente si el usuario lo hace bajo su propia responsabilidad.

3.3. Se valida técnicamente la carga, en este punto se debe tener en cuenta el tipo de conexión es decir cuántas fases alimentan la carga, para el software realizado se tienen en cuenta solo arreglos de una, dos y tres fases, con esta información se verifica si el conductor seleccionado desde la base de datos soporta la corriente de carga, se aclara que el programa utiliza solo la temperatura de 60° C para conductores menores a #2 AWG y de 75° C para conductores mayores a #2 AWG lo anterior en concordancia con la NTC 2050, si la corriente calculada por fase es mayor que la del conductor el programa muestra un error como el de la Figura 8 y además sugiere la solución basado en el tipo de carga y arreglo polifásico; el código del programa en este caso realiza una búsqueda de acuerdo al conductor seleccionado y devuelve la corriente nominal de este que se compara con la corriente por fase calculada de la carga.

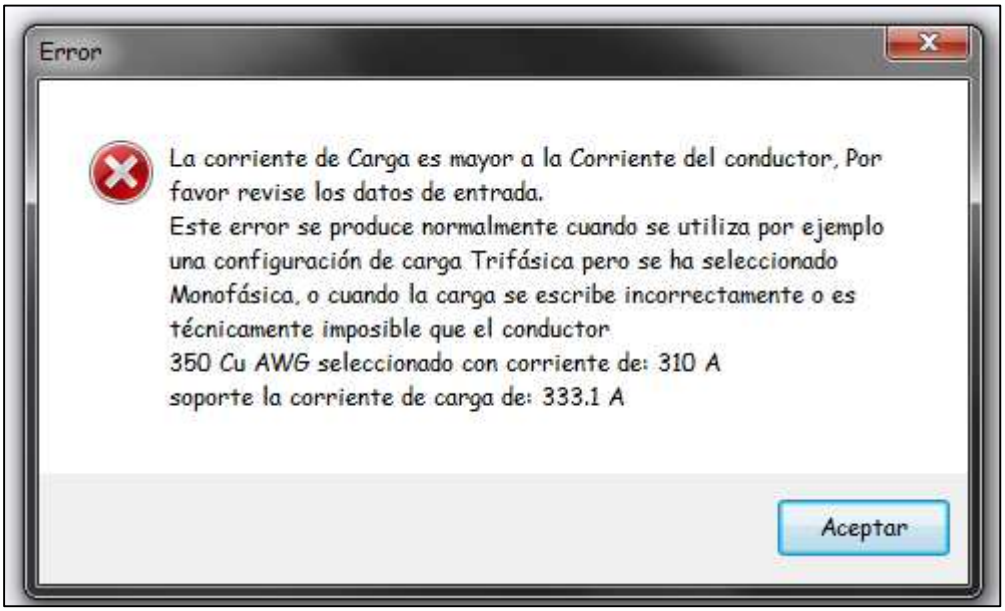


Figura 8, Mensaje de error generado por sobrecarga del conductor.

3.4. Se realiza el cálculo de la regulación con fines informativos y de acuerdo al tipo de la instalación es decir si es acometida 3% o alimentador 5%, si la regulación es mayor al porcentaje que corresponda se muestra un mensaje informativo como el de la Figura 9, pero no se interrumpe el curso del programa, esta validación se hace para mostrar al usuario un posible error sin embargo puede darse el caso que se admita una regulación mayor debido a características del proyecto o de la carga, en este caso es fundamental el concepto del profesional competente; al interior del programa lo que se realiza es una búsqueda basada en el conductor seleccionado que devuelve la constante de regulación en metros que se multiplica por la longitud y la carga monofásica.

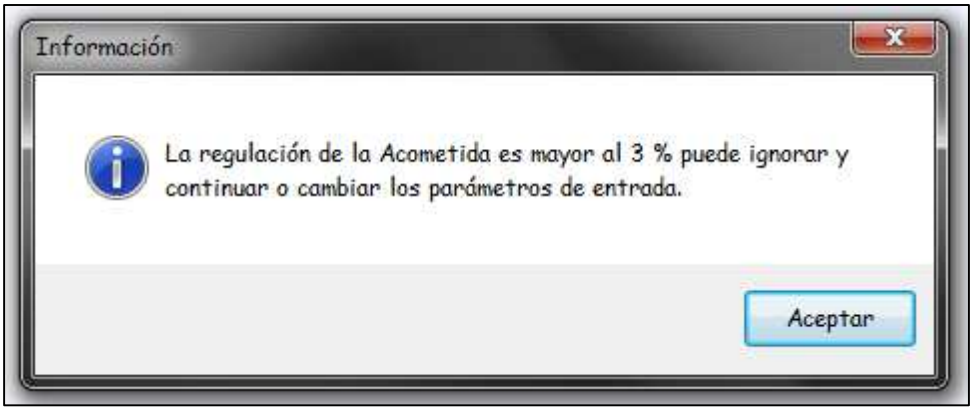


Figura 9, Mensaje de Información caída de tensión.

3.5. Una vez ingresada y validada la información el programa despliega la gráfica, la tabla y el resumen del cálculo, estas se muestran en la Figura 10, para realizar el cálculo económico es necesario conocer los precios de los conductores, el precio del kWh y demás parámetros de tipo económico, para este paso y con las variables eléctricas ya establecidas y validadas el software realiza una búsqueda según el conductor actual y devuelve su precio, su resistencia por metro lineal y realiza el cálculo del costo de conductor actual, luego basado en la posición del vector del conductor seleccionado busca el conductor inmediatamente superior y realizando las mismas búsquedas calcula el costo del conductor siguiente; si resulta ser mayor el costo del conductor actual que el siguiente el aplicativo informa y sugiere la solución y es decisión del usuario aceptar el cambio de conductor.

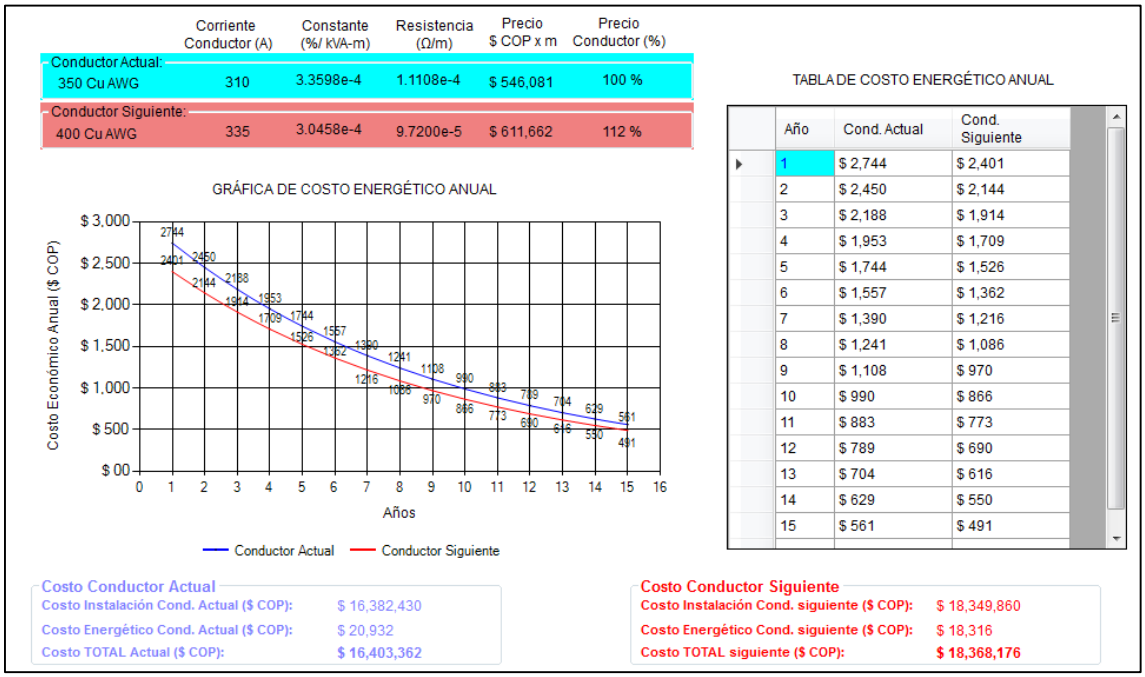


Figura 10, Gráfica, tabla y resumen del cálculo.

3.6. Luego de haber calculado por primera vez, la información se actualizara de acuerdo a la modificación de los campos como *"textbox"* o *"combobox"*.

4. Cuando el usuario ya tiene el resultado preliminar pueden optar por editar la información del proyecto en el **menú de *"Configuración"*** que despliega la ventana mostrada en la Figura 11, desde esta ventana puede cambiar variables como el nombre del proyecto, la ubicación, el profesional responsable, su matrícula y el nivel de tensión, adicionalmente en este mismo menú se pueden actualizar o modificar los parámetros globales económicos, este menú precarga valores por defecto para los datos del proyecto y precarga los valores desde la base de datos para los parámetros económicos, en este paso se realizan comunicación y actualización directamente con la base de datos por lo tanto debe mantenerse la integridad de la ubicación del archivo durante estos procesos.

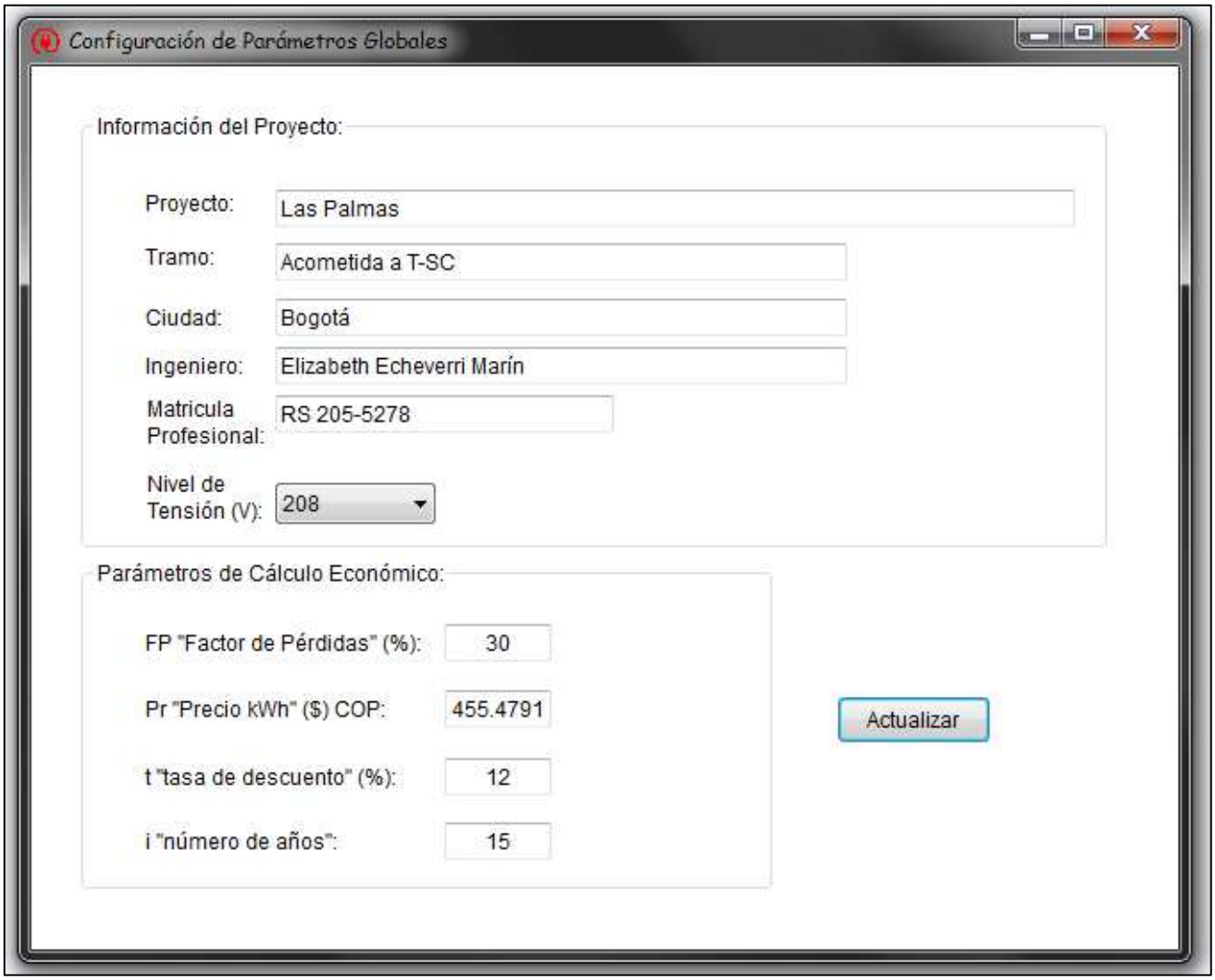


Figura 11, Ventana "Configuración de Parámetros Globales".

5. El **menú de *"Documentación"*** incluye el manual del usuario y a la presente documentación técnica en PDF.
6. Pueden imprimirse los resultados sin necesidad de realizar edición de la información del proyecto sin embargo estos saldrán con valores por defecto como se menciona en el numeral anterior, el **menú de *"Impresión"*** tiene la opción de observar una vista previa del informe Figura 6, o enviar directamente a la impresora predeterminada; en este evento el código utiliza recursos como clases específicas que permiten gestionar la impresión.
7. El **menú de *"Acerca de"*** muestra la información de la versión, propietario, desarrollador y directores de la pasantía.

7. DIAGRAMA DE FLUJO

La Figura 12 representa el diagrama de flujo de la aplicación orientado al cálculo del costo económico del conductor, a continuación se Indicaran las variables y operaciones realizadas en cada nivel identificado con un número:

1. **INICIALIZACIÓN DE VARIABLES:** Se llaman desde la base de datos los valores por defecto para las variables Económicas Tabla 3 y Eléctricas Tabla 4, para las variables de conductor Tabla 5 y acometidas Tabla 6 se crean valores por defecto en el formato adecuado. Las variables de cada tipo se indican a continuación:

Tabla 3, Variables económicas

Sigla	Nombre	Unidades o Formato	Valor por Defecto
FP	Factor de Pérdidas	%	30
Pr	Precio kWh	$COP	455.4791
t	Tasa de descuento	%	12
i	Numero de años	adimensional	15

Tabla 4, Variables Eléctricas.

VARIABLES ELÉCTRICAS			
Sigla	**Nombre**	**Unidades o Formato**	**Valor por Defecto**
Vl	Tensión de línea	V	208
Vf	Tensión de fase	V	120
N	Numero de fases	adimensional	3

Tabla 5, Variables del conductor.

VARIABLES DEL CONDUCTOR			
Sigla	**Nombre**	**Unidades o Formato**	**Valor por Defecto**
Icond1	Corriente del conductor actual	A	0
K1	Constante del conductor actual	% / kVA-m	0
R1	Resistencia del conductor actual	Ω/m	0
Pr1	Precio del conductor actual	$/m COP	0
Icond2	Corriente del conductor siguiente	A	0
K2	Constante del conductor siguiente	% / kVA-m	0
R2	Resistencia del conductor siguiente	Ω/m	0
Pr2	Precio del conductor siguiente	$/m COP	0

Tabla 6, Variables de acometida.

VARIABLES DE ACOMETIDA			
Sigla	**Nombre**	**Unidades o Formato**	**Valor por Defecto**
l	Longitud del tramo	m	0
Icarg	Corriente de carga	A	0
Carg	Carga del tramo	kVA	0

2. **INGRESO POR TECLADO:** En este nivel el usuario asigna valores a las variables de longitud del tramo, carga del tramo, número de fases y conductor actual.

3. **CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CARGA:** Se calcula la corriente que circula por la carga a partir del número de fases, tensión de fase y la carga del tramo, como se muestra en la Ecuación 19.

$$I_{carg} = \frac{Carg}{\left(\frac{Vf}{1000}\right) \times N}$$

Ecuación 19, Corriente de Carga.

4. **VERIFICACIÓN CORRIENTE DE CONDUCTOR:** Se comprueba que el conductor seleccionado soporte la corriente de la carga. Si la corriente demandada es mayor que la corriente nominal del conductor el programa interrumpe su ejecución, muestra un mensaje de error y regresa al nivel 2.

5. **CÁLCULO DE REGULACIÓN DE TENSIÓN:** Se obtiene el porcentaje de caída de tensión del tramo, este depende de la constante del conductor actual, la longitud, la carga, el número de fases y la tensión de línea, su cálculo se muestra en la Ecuación 20.

$$\%_{REG} = a^2 \times K_{corre} \times l \times Carg$$

Ecuación 20, % Caída de tensión.

Donde;

a^2= Relación de transformación Ecuación 21, se utiliza constante el numerador en 208 voltios debido a que esta es la tensión en la que se obtiene la constante del conductor, *Vl* es la tensión de línea seleccionada para el proyecto.

$$a^2 = \left(\frac{208}{Vl}\right)^2$$

Ecuación 21, Relación de transformación.

K_{corre}= Es la constante de regulación del conductor corregida de acuerdo al número de fases, su valor está dado según la Tabla 7.

Tabla 7, Constante corregida.

	# Fases	Kcorr	
	3	K1*1	
	2	K1*2	
	1	K1*6	
K1: Constante del conductor actual			

l= Es la longitud del tramo en metros lineales.

Carg= Es la carga conectada al tramo en kVA.

6. **VERIFICACIÓN DE REGULACIÓN:** Si luego de calcular la regulación de tensión esta supera un valor establecido de 5% para alimentadores y 3% para acometidas, el aplicativo pregunta si quiere continuar con el cálculo, en caso de ser afirmativa la respuesta pasa al nivel 7, si la respuesta es negativa regresa al nivel 2.

7. **CARGADO DE PARÁMETROS:** De acuerdo al conductor seleccionado el software carga los precios y resistencias del conductor actual y del siguiente.

8. **CÁLCULO DE COSTO ECONÓMICO TOTAL:** Se obtiene el costo del conductor actual y del siguiente utilizando la Ecuación 18Ecuación 16 con los parámetros indicados para cada caso.

9. **ANÁLISIS ECONÓMICO:** Se verifica que el costo económico del conductor actual sea menor que el del conductor siguiente y muestra los resultados.

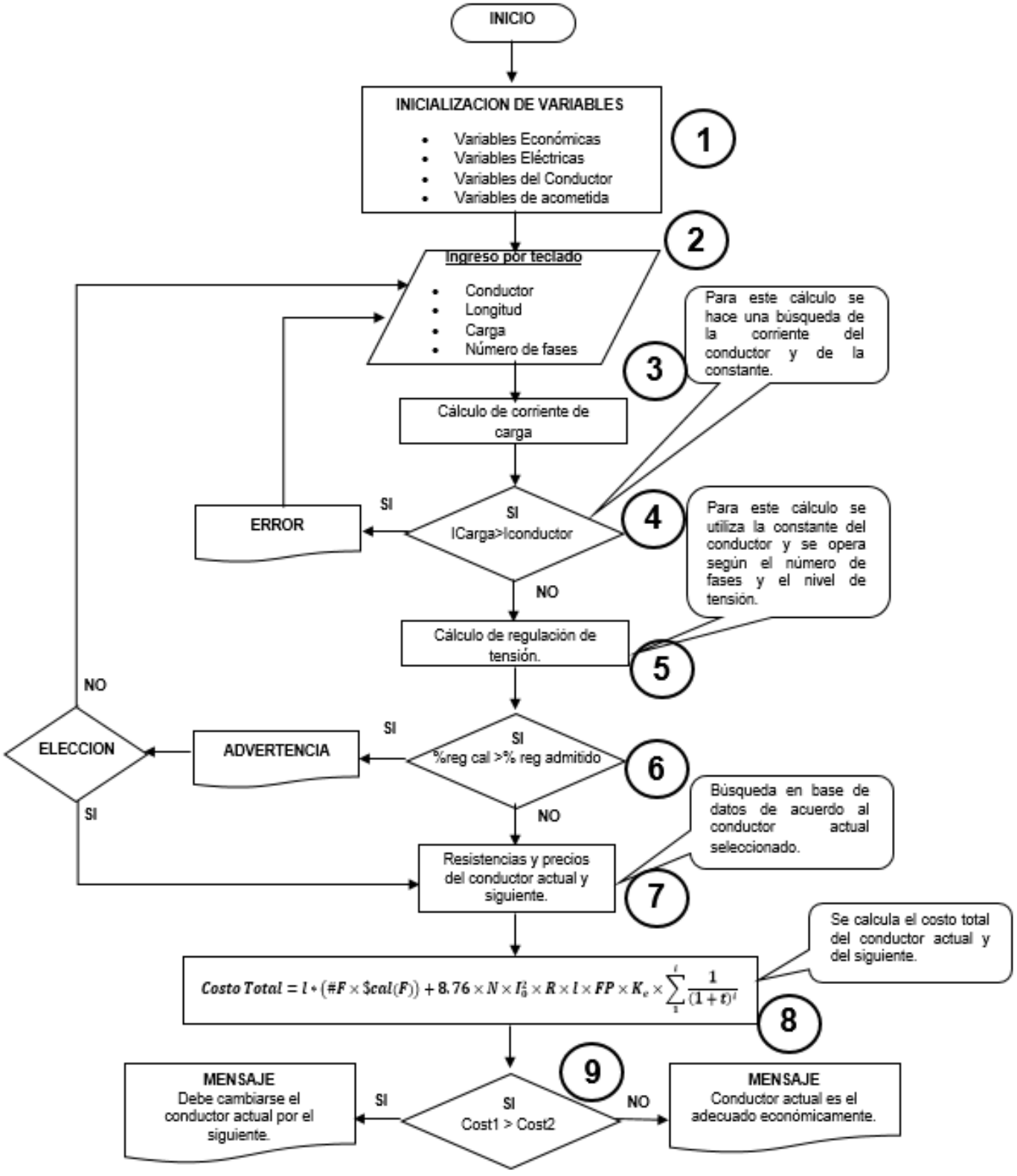


Figura 12, Diagrama de flujo.

8. CASOS DE USO

Durante las pruebas y utilización del software se observaron unas características comunes en los resultados cuando se utilizaban parámetros de entrada particulares o condiciones de instalación específicas, se abordarán tres casos de uso así:

- **CASO 1:** Un alimentador con una longitud considerable.
- **CASO 2:** Un alimentador de corta longitud y con un factor de pérdidas elevado.
- **CASO 3:** Un alimentador con una longitud media.

Para todos los casos de uso se establecerán como constantes los parámetros indicados en la Tabla 8. De la misma manera las variables son las mostradas en la Tabla 9.

Tabla 8, Parámetros para los casos de uso.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Parámetro
Pr	Precio kWh	$COP	455.4791
t	Tasa de descuento	%	12
i	Numero de años	adimensional	15
Vl	Tensión de línea	V	208
Vf	Tensión de fase	V	120
N	Numero de fases	adimensional	3

Tabla 9, Variables para los casos de uso.

Designación	Nombre	Unidades o Formato
FP	Factor de Pérdidas	%
l	Longitud del Alimentador	m
Carg	Carga del Alimentador	kVA
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil

Se realizarán 3 cálculos para cada caso y se tendrán en cuenta unas condiciones específicas así:

- **PARA CASO 1:** Para los 3 cálculos la longitud será de 100 m y el factor del pérdidas se establecerá en 30 %; se cambiarán la carga y el calibre del conductor actual para tener una regulación de 4.0 % ± 0.3 %.

- **PARA CASO 2:** Para los 3 cálculos la longitud será de 1 m y el factor del pérdidas se establecerá en 85 %; se cambiará la carga para que sea el 98 % ± 2 % de la corriente nominal del calibre del conductor actual.
- **CASO 3:** Para los 3 cálculos la longitud será de 60 m y el factor del pérdidas se establecerá en 30 %; se cambiará la carga para que sea el 98 % ± 2 % de la corriente nominal del calibre del conductor actual.

8.1. CASO 1: ALIMENTADOR LARGO

Este caso muestra la influencia que tiene la distancia en el cálculo del conductor económico bajo unas condiciones normales de utilización.

Durante el proceso de diseño las cargas o equipos no siempre se encuentran cerca al Tablero General de Distribución, para poder llevar la potencia eléctrica a estos equipos es necesario instalar alimentadores de longitudes mayores o iguales a 100m.

Al tiempo que debe garantizarse que el calibre seleccionado soporte la corriente de carga; debido a la distancia es indispensable verificar la regulación de tensión, este porcentaje de caída de tensión puede hacer que se aumente el calibre seleccionado inicialmente por corriente.

CÁLCULO 1:

Los datos de entrada del primer cálculo son mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10, Datos de entrada cálculo 1, Caso 1.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	100
Carg	Carga del Alimentador	kVA	21
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	4 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 1, el software genera los resultados mostrados en la Figura 13 y su resumen en la Tabla 11.

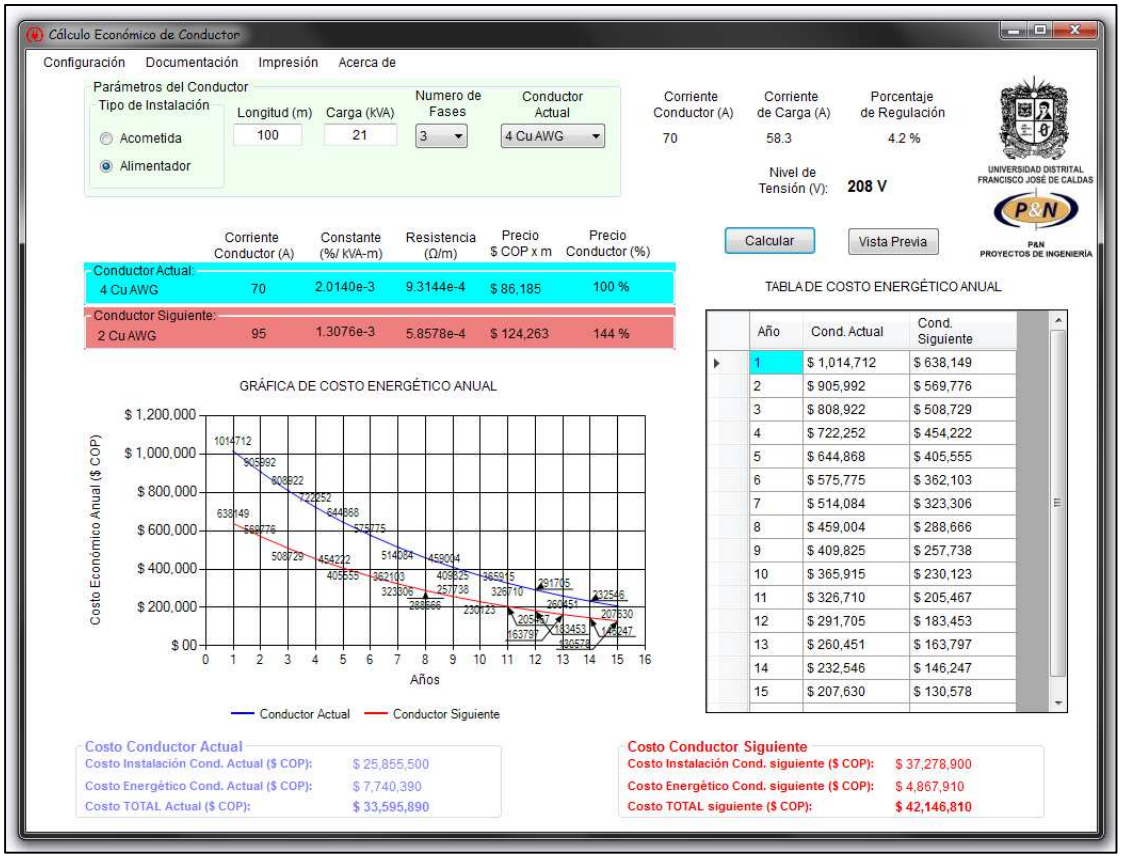


Figura 13, Resultados del cálculo 1, Caso 1.

Tabla 11, Resumen del cálculo 1, Caso 1.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	70
Corriente de carga	*A*	58.3
Porcentaje de regulación	*%*	4.2%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	9.3144E-04
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	2 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 124,263
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	5.8578E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 25,855,500
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 7,740,390
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 33,595,890**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 37,278,900
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 4,867,910
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 42,146,810**

CÁLCULO 2:

Los datos de entrada del segundo cálculo son mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12, Datos de entrada cálculo 2, Caso 1.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	100
Carg	Carga del Alimentador	kVA	48
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	1/0 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 2, el software genera los resultados mostrados en la Figura 14 y su resumen en la Tabla 13.

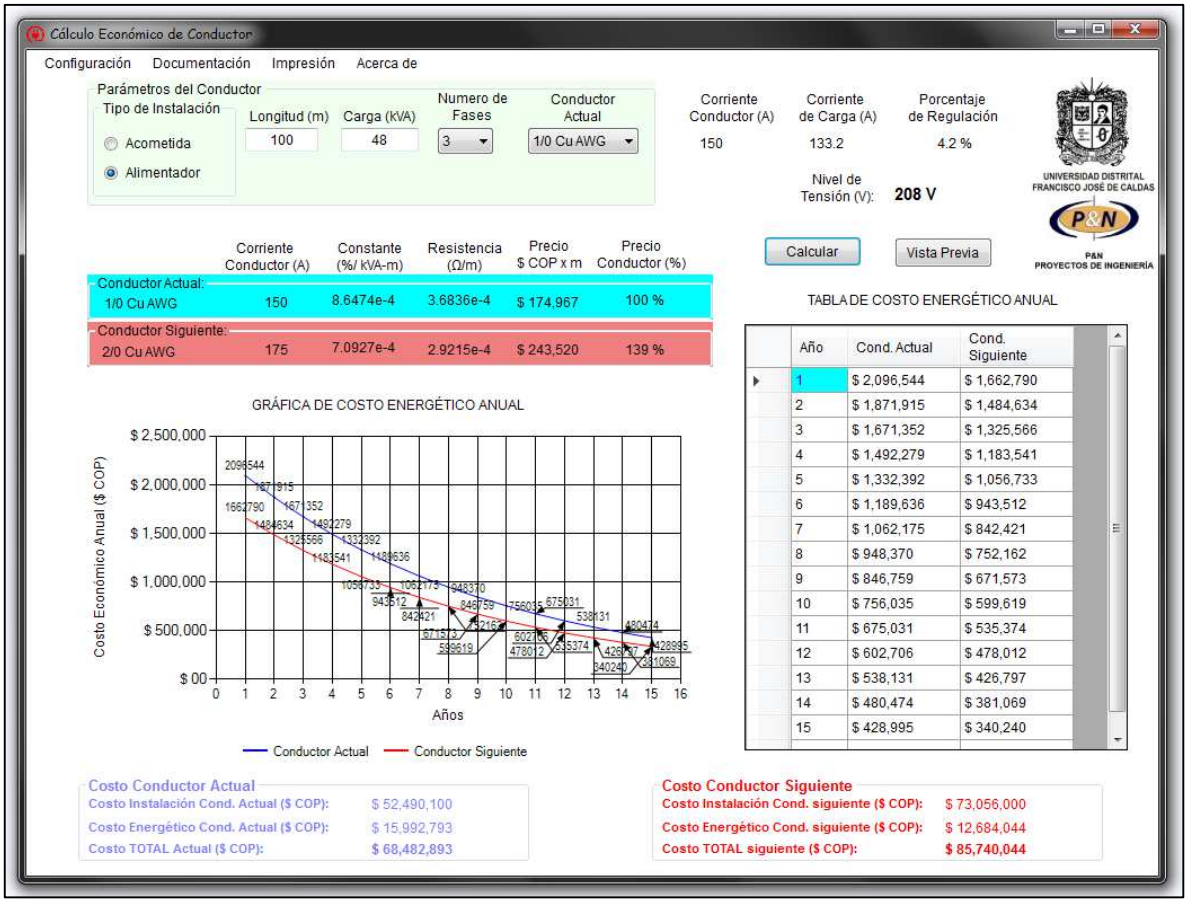


Figura 14, Resultados del cálculo 2, Caso 1.

Tabla 13, Resumen del cálculo 2, Caso 1.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	150
Corriente de carga	*A*	133.2
Porcentaje de regulación	*%*	4.2%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	1/0 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 174,967
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	3.6836E-04
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	2/0 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 243,520
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	2.9215E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 52,490,100
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 15,992,793
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 68,482,893**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 73,056,000
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 12,684,044
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 85,740,044**

CÁLCULO 3:

Los datos de entrada del tercer cálculo son mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14, Datos de entrada cálculo 3, Caso 1.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	100
Carg	Carga del Alimentador	kVA	111
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	350 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 3, el software genera los resultados mostrados en la Figura 15 y su resumen en la Tabla 15.

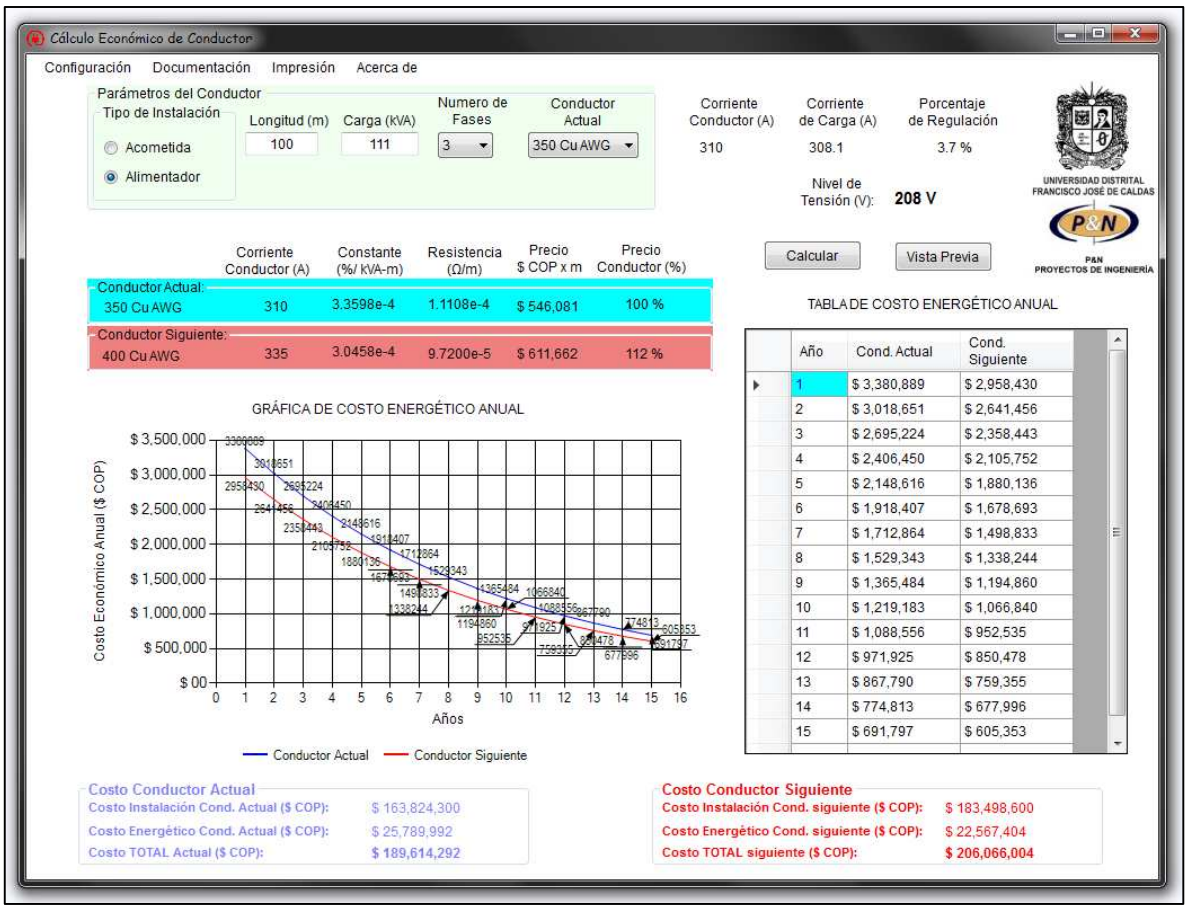


Figura 15, Resultados del cálculo 3, Caso 1.

Tabla 15, Resumen del cálculo 3, Caso 1.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	310
Corriente de carga	*A*	308.1
Porcentaje de regulación	*%*	3.7%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	350 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 546,081
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	1.1108E-04
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	400 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 611,662
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	9.7200E-05
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 163,824,300
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 25,789,992
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 189,614,292**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 183,498,600
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 22,567,404
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 206,066,004**

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Debido a la longitud y precio del conductor puede verse que el costo de instalación es el más representativo en los 3 cálculos. Para este caso de estudio puede observarse que si se hiciera el costo energético igual a cero no afectaría el resultado del conductor económico.

Cuando se instalan alimentadores debe garantizarse una caída de tensión menor al 5%, si se presentan las condiciones de distancia y carga adecuadas es probable que se requiera un conductor de una sección transversal considerable; con los datos obtenidos puede asegurarse que siempre que exista un alimentador con longitud mayor o igual a 100 m y con las condiciones económicas convenientes al tiempo con un factor de pérdidas normal, la selección del conductor económico será la misma de diseño.

8.2. CASO 2: ALIMENTADOR CORTO

Este caso está orientado a observar las perdidas energéticas como determinantes para la selección del conductor económico.

Una instalación que tenga un factor de pérdidas alto es aquella que debido a sus características deba consumir energía eléctrica por periodos superiores a 8 horas diarias durante los 7 días de la semana, si se da la situación anterior y además existen recorridos cortos de acometidas o alimentadores que estén cerca de su límite de capacidad de corriente puede tenerse un costo energético representativo dentro de la instalación eléctrica.

En este caso de uso se mostrará la influencia de los parámetros económicos y específicamente del factor de pérdidas en la selección de conductor económico:

CÁLCULO 1:

Los datos de entrada del primer cálculo son mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16, Datos de entrada cálculo 1, Caso 2.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	85
l	Longitud del Alimentador	m	1
Carg	Carga del Alimentador	kVA	14
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	8 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 1, el software genera los resultados mostrados en la Figura 16 y su resumen en la Tabla 17.

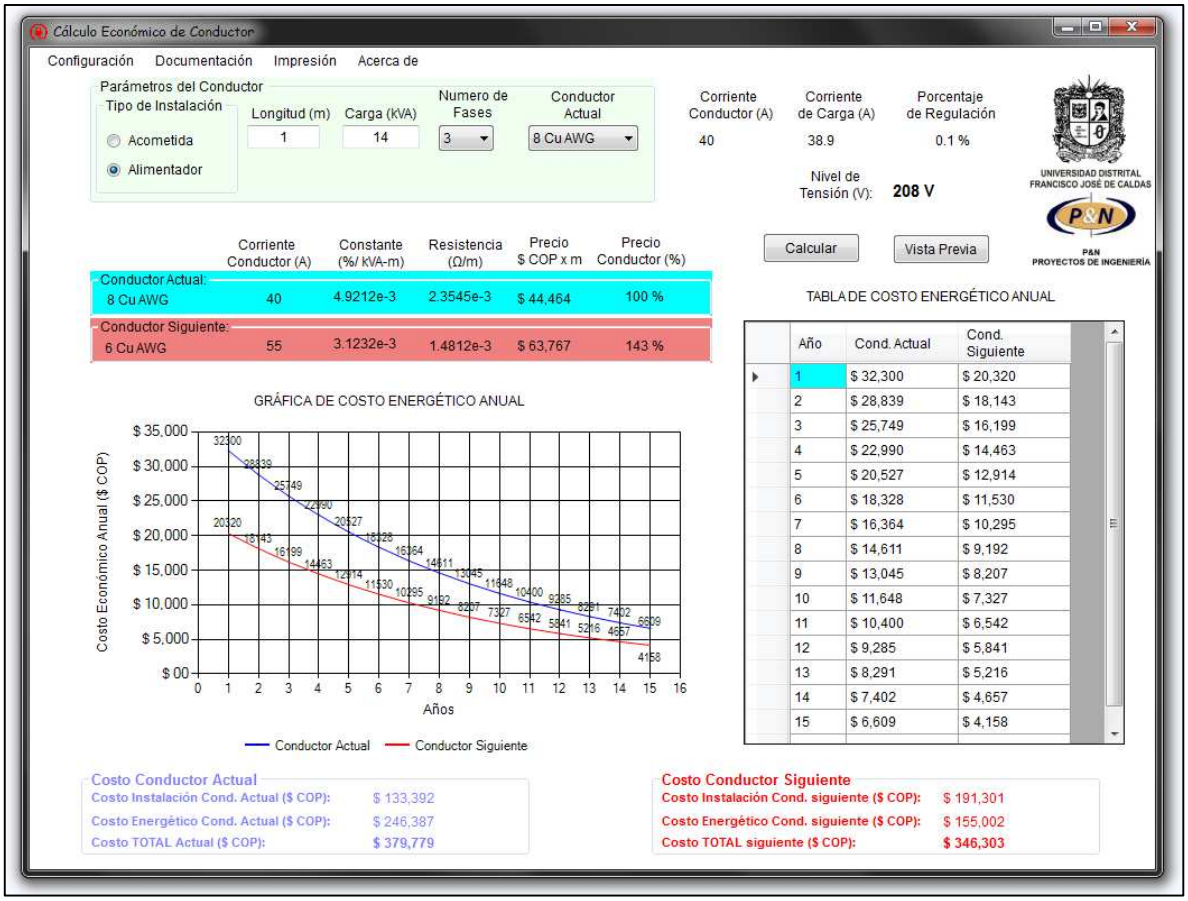


Figura 16, Resultados del cálculo 1, Caso 2.

Tabla 17, Resumen del cálculo 1, Caso 2.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	40
Corriente de carga	*A*	38.9
Porcentaje de regulación	*%*	0.1%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	8 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 44,464
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	2.3545E-03
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	6 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 63,767
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	1.4812E-03
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 133,392
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 246,387
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 379,779**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 191,301
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 155,002
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 346,303**

CÁLCULO 2:

Los datos de entrada del segundo cálculo son mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18, Datos de entrada cálculo 2, Caso 2.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	85
l	Longitud del Alimentador	m	1
Carg	Carga del Alimentador	kVA	19
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	6 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 1, el software genera los resultados mostrados en la Figura 17 y su resumen en la Tabla 19.

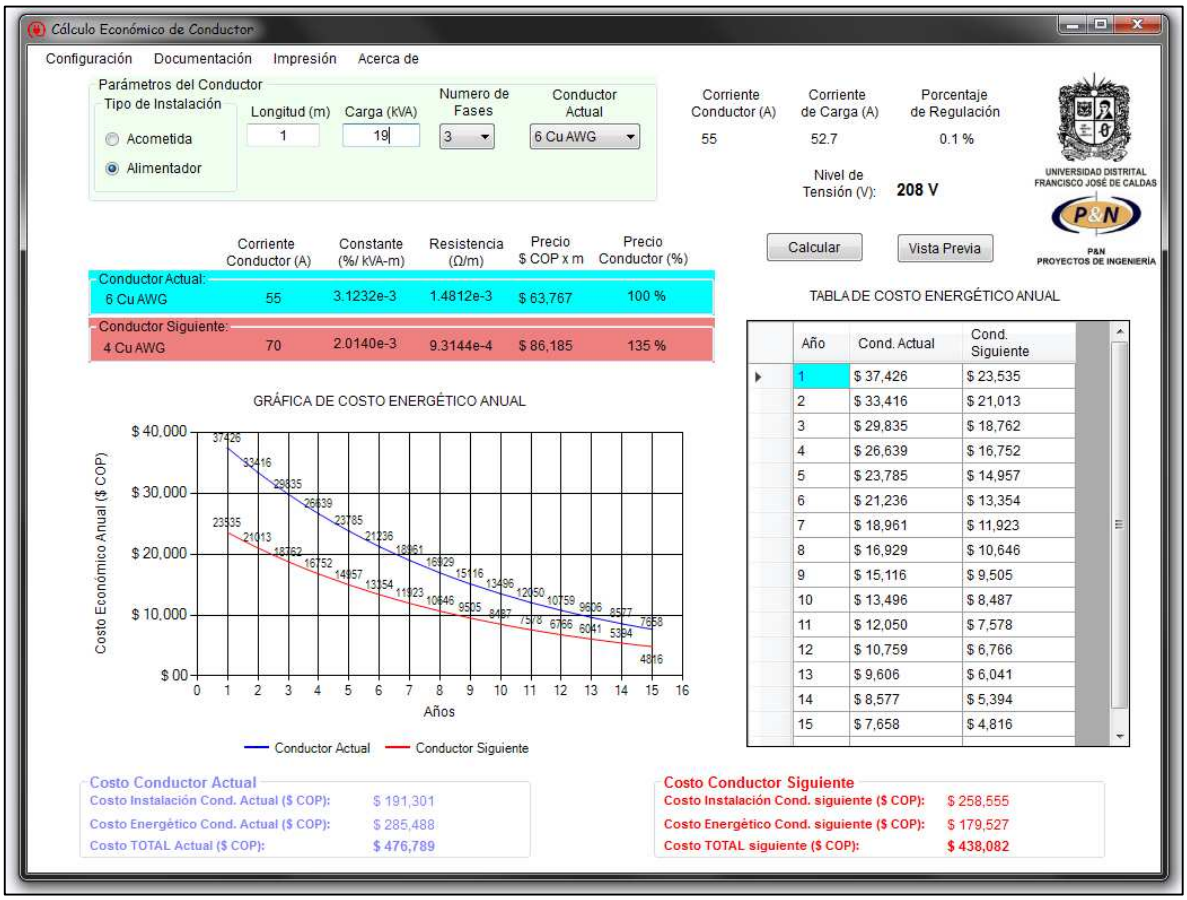


Figura 17, Resultados del cálculo 2, Caso 2.

Tabla 19, Resumen del cálculo 2, Caso 2.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	55
Corriente de carga	*A*	52.7
Porcentaje de regulación	*%*	0.1%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	6 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 63,767
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	1.4812E-03
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	9.3144E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 191,301
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 285,488
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 476,789**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 258,555
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 179,527
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 438,082**

CÁLCULO 3:

Los datos de entrada del tercer cálculo son mostrados en la Tabla 16.

Tabla 20, Datos de entrada cálculo 3, Caso 2.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	85
l	Longitud del Alimentador	m	1
Carg	Carga del Alimentador	kVA	25
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	4 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 1, el software genera los resultados mostrados en la Figura 18 y su resumen en la Tabla 21.

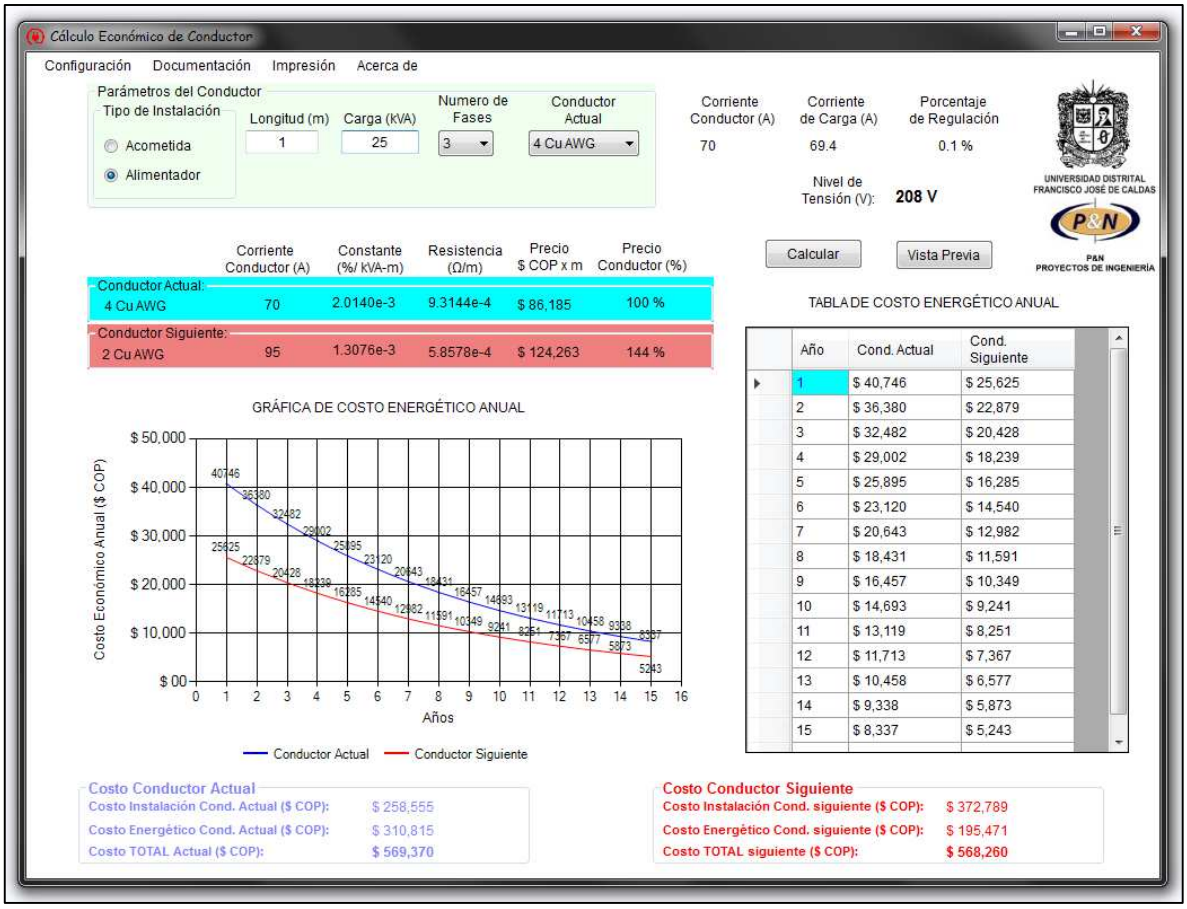


Figura 18, Resultados del cálculo 3, Caso 2.

Tabla 21, Resumen del cálculo 3, Caso 2.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	70
Corriente de carga	*A*	69.4
Porcentaje de regulación	*%*	0.1%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	9.3144E-04
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	2 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 124,263
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	5.8578E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 258,555
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 310,815
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 569,370**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 372,789
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 195,471
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 568,260**

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

El factor de pérdidas de 85 % influye directamente en el costo energético y al tener todos los alimentadores de 1 m de longitud el costo de instalación es el menor posible, se observa que en todos los cálculos el conductor actual NO es el adecuado económicamente.

La diferencia entre el costo total del conductor actual y el siguiente no es significativa y cuando se aumenta de calibre tienden a igualarse ambos costos.

Si se modificaran varios parámetros económicos de manera simultánea como la tasa de descuento, precio de kWh y precios de los conductores de cobre se obtendrían los mismos resultados; con lo anterior se puede asegurar que si existe un alto riesgo o incertidumbre para el establecimiento de la tasa de descuento, o el precio del kWh aumenta drásticamente de acuerdo a su histórico, o los precios del cobre bajan, todo en conjunto con un factor de pérdidas alto la selección del conductor económico siempre será el siguiente.

8.3. CASO 3: ALIMENTADOR MEDIO

Un alimentador medio hace referencia a un conductor que no es necesario cambiar por regulación de tensión y tiene una longitud normal con una cargabilidad cercana a la nominal del conductor.

Este caso muestra las configuraciones de alimentadores más comunes y sencillas utilizadas en los proyectos, es decir, cuando el conductor seleccionado no debe ajustarse por regulación de tensión.

CÁLCULO 1:

Los datos de entrada del primer cálculo son mostrados en la Tabla 22.

Tabla 22, Datos de entrada cálculo 1, Caso 3.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	60
Carg	Carga del Alimentador	kVA	14
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	8 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 1, el software genera los resultados mostrados en la Figura 19 y su resumen en la Tabla 23.

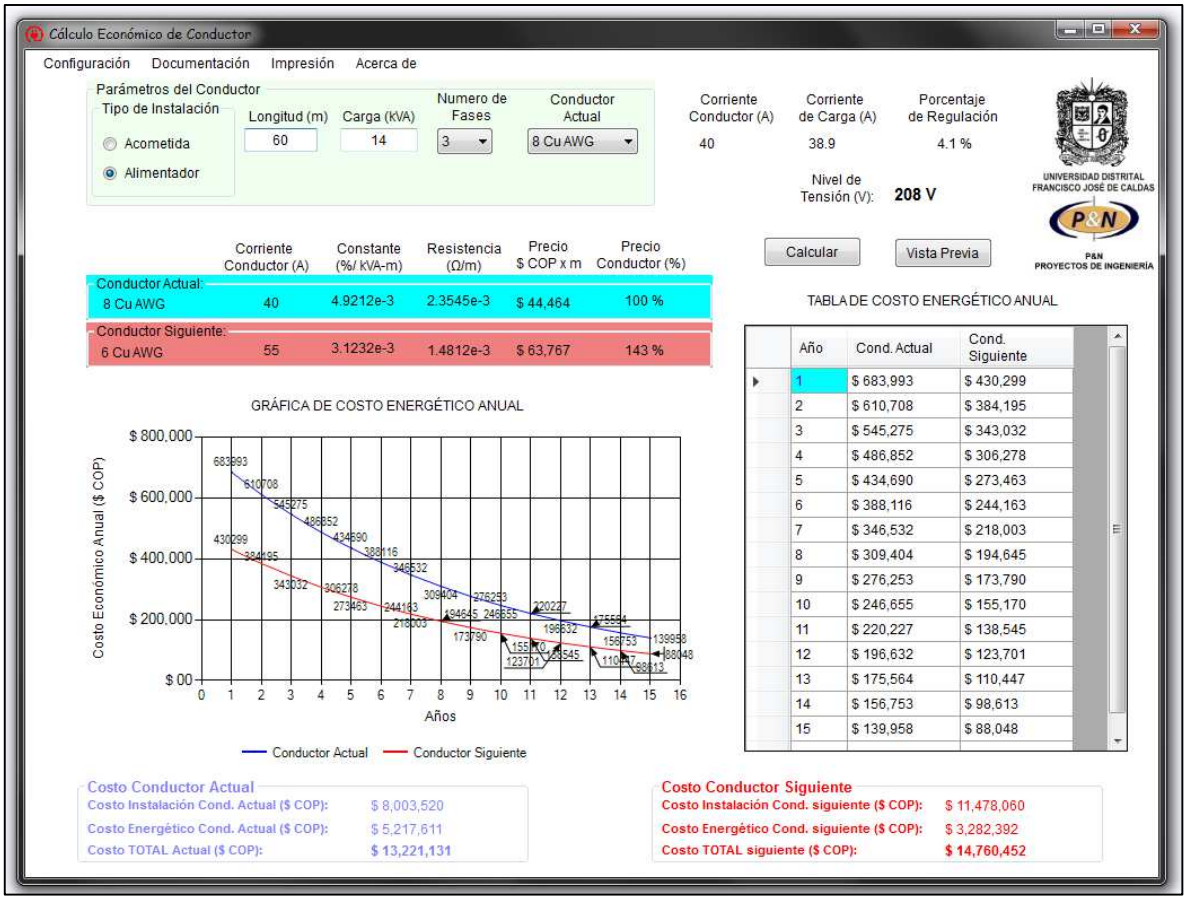


Figura 19, Resultados del cálculo 1, Caso 3.

Tabla 23, Resumen del cálculo 1, Caso 3.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	40
Corriente de carga	*A*	38.9
Porcentaje de regulación	*%*	4.1%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	8 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 44,464
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	2.3545E-03
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	6 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 63,767
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	1.4812E-03
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 8,003,520
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 5,217,611
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 13,221,131**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 11,478,060
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 3,282,392
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 14,760,452**

CÁLCULO 2:

Los datos de entrada del segundo cálculo son mostrados en la Tabla 24.

Tabla 24, Datos de entrada cálculo 2, Caso 3.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	60
Carg	Carga del Alimentador	kVA	19
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	6 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 2, el software genera los resultados mostrados en la Figura 20 y su resumen en la Tabla 25.

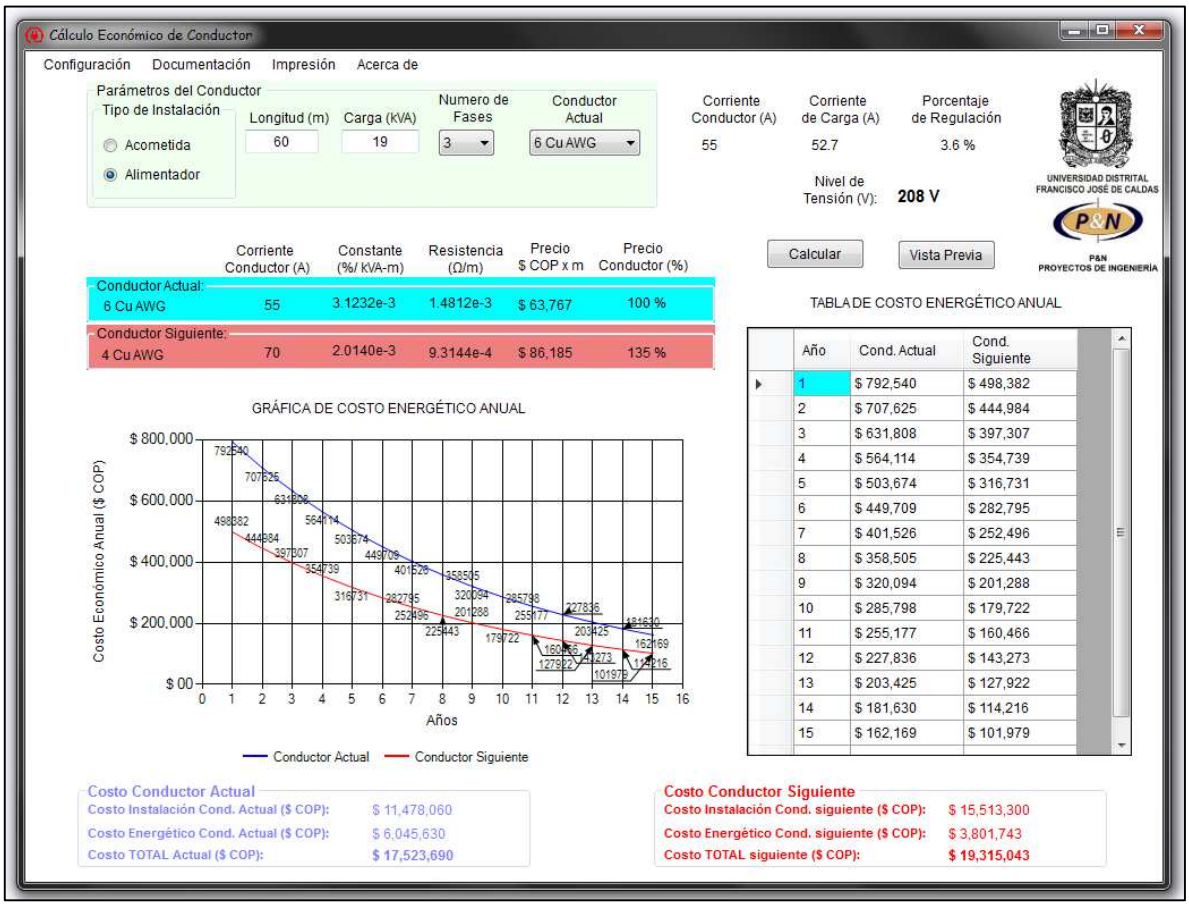


Figura 20, Resultados del cálculo 2, Caso 3.

Tabla 25, Resumen del cálculo 2, Caso 3.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	55
Corriente de carga	*A*	52.7
Porcentaje de regulación	*%*	3.6%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	6 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 63,767
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	1.4812E-03
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	9.3144E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 11,478,060
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 6,045,630
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 17,523,690**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 15,513,300
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 3,801,743
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 19,315,043**

CÁLCULO 3:

Los datos de entrada del tercer cálculo son mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26, Datos de entrada cálculo 3, Caso 3.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	30
l	Longitud del Alimentador	m	60
Carg	Carga del Alimentador	kVA	25
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	4 Cu

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 3, el software genera los resultados mostrados en la Figura 21 y su resumen en la Tabla 27.

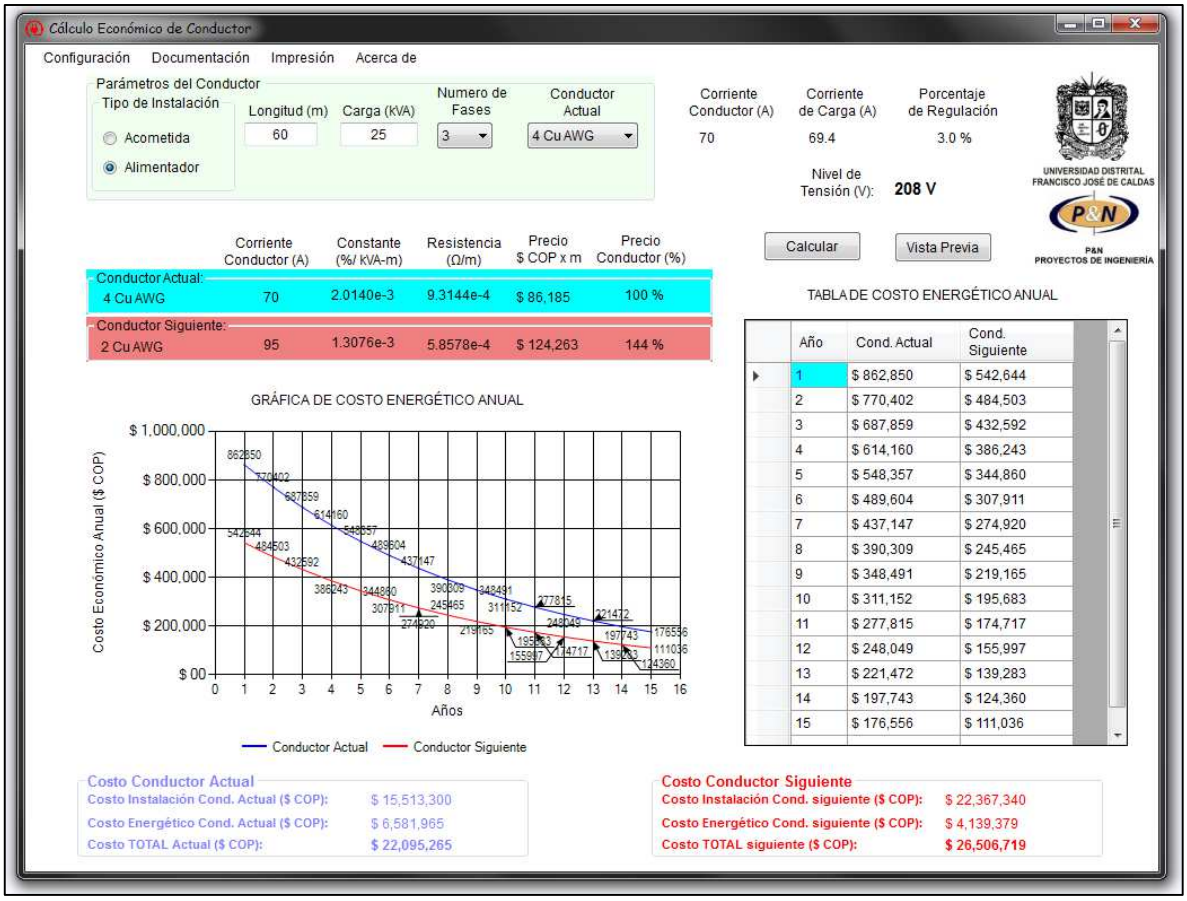


Figura 21, Resultados del cálculo 3, Caso 3.

Tabla 27, Resumen del cálculo 3, Caso 3.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	70
Corriente de carga	*A*	69.4
Porcentaje de regulación	*%*	3.0%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	9.3144E-04
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	2 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 124,263
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	5.8578E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 15,513,300
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 6,581,965
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 22,095,265**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 22,367,340
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 4,139,379
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 26,506,719**

Al igual que el caso 2 los parámetros de tipo económico influyen en la selección del conductor económico en longitudes medias, para demostrar este punto se modificará el cálculo 2 del caso 3.

Para este cálculo se modificaran todos los parámetros económicos, esto nos permite observar la influencia de todos ellos y no solamente del factor de pérdidas; se aumentará el precio del kWh a $ COP 650, la tasa de descuento se bajará al 10% y se utilizará un factor de pérdidas del 40 %.

CÁLCULO 4:

Los datos de entrada del cuarto cálculo son mostrados en la Tabla 28, y en la Tabla 29 los parámetros económicos modificados.

Tabla 28, Datos de entrada cálculo 4, Caso 3.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Variable
FP	Factor de Pérdidas	%	40
l	Longitud del Alimentador	m	60
Carg	Carga del Alimentador	kVA	19
Cond. Act.	Calibre del Conductor Actual	AWG / kcmil	6 Cu

Tabla 29, Parámetros modificados para el cálculo 4, caso 3.

Designación	Nombre	Unidades o Formato	Parámetro
Pr	Precio kWh	$COP	650
t	Tasa de descuento	%	10
i	Numero de años	adimensional	15
Vl	Tensión de línea	V	208
Vf	Tensión de fase	V	120
N	Numero de fases	adimensional	3

Luego de ingresar los datos necesarios para realizar el cálculo 4, el software genera los resultados mostrados en la Figura 22 y su resumen en la Tabla 30.

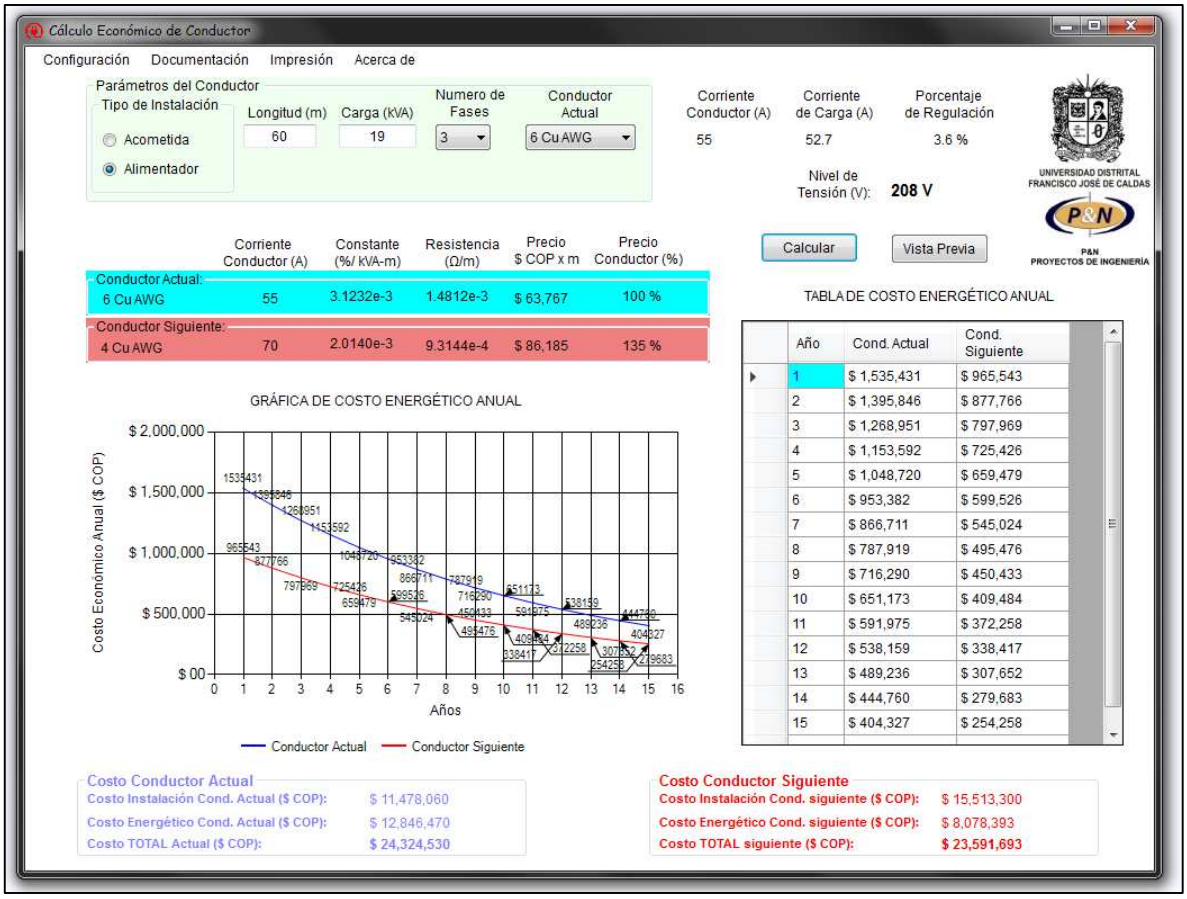


Figura 22, Resultados del cálculo 4, Caso 3.

Tabla 30, Resumen del cálculo 4, Caso 3.

Nombre	Unidades o Formato	Resultado Cálculo
Corriente del conductor actual	*A*	55
Corriente de carga	*A*	52.7
Porcentaje de regulación	*%*	3.6%
Conductor actual	*AWG / kcmil*	0
Precio conductor actual	*$/m COP*	$ 63,767
Resistencia conductor actual	*Ω/m*	1.4812E-03
Conductor siguiente	*AWG / kcmil*	4 Cu
Precio conductor siguiente	*$/m COP*	$ 86,185
Resistencia conductor siguiente	*Ω/m*	9.3144E-04
Costo Instalación Conductor Actual	*$ COP*	$ 11,478,060
Costo Energético Conductor Actual	*$ COP*	$ 12,846,470
COSTO TOTAL CONDUCTOR ACTUAL	*$ COP*	**$ 24,324,530**
Costo Instalación Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 15,513,300
Costo Energético Conductor Siguiente	*$ COP*	$ 8,078,393
COSTO TOTAL CONDUCTOR SIGUIENTE	*$ COP*	**$ 23,591,693**

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Para todos los 3 primeros cálculos realizados se puede observar que el conductor seleccionado por diseño es el económicamente adecuado, esto nos permite asegurar que siempre que el factor de pérdidas esté en un rango menor al 30 % al tiempo con unas condiciones económicas estables tanto para la venta de energía como para los precios de conductores, el costo del conductor siguiente siempre será mayor que el del actual.

El cálculo 4 nos muestra la influencia del precio del kWh, la tasa de descuento y el factor de pérdidas; para este cálculo y teniendo en cuenta las mismas características de carga, longitud y calibre del cálculo 2 el resultado del conductor económico es ahora el del siguiente.

Lo anterior nos permite aclarar que el factor de pérdidas no es el único determinante del costo energético, pues para este cálculo en particular solo se aumentó un 10 % que implicaría 2 horas más por día; el precio del kWh se aumentó un 31.86 % y la tasa de descuento se redujo un 2 %, lo anterior en comparación con el cálculo 2.

El conductor económico para una misma carga y longitud, puede ser diferente si se realiza en usuarios con diferencias en sus precios de energía o si se asumen tasas de descuento diferentes, esto nos muestra que cada proyecto debe ser evaluado de manera independiente, y que la generalización solo puede darse cuando se comparen usuarios con similares comportamientos de consumo, con el mismo estrato y con idéntica empresa prestadora de servicio de energía.

9. CONCLUSIONES

1. Las acometidas o alimentadores con longitudes mayores o iguales a 100 m no tienen grandes pérdidas energéticas, debido a que cuando se garantiza su regulación por caída de tensión los conductores pueden llegar a tener una sección transversal significativa, sin embargo el costo inicial es mayor debido a la inversión que debe incurrirse para la instalación de estos, para estos casos y con condiciones económicas normales, el conductor actual será el adecuado económicamente.
2. Una acometida o alimentador con un factor de pérdidas igual o mayor al 85 % y bajo las condiciones económicas normales establecidas en este documento, da como resultado y para todas las configuraciones la selección del conductor siguiente como el económicamente adecuado.
3. Una acometida o alimentador con las mismas características de número de fases, nivel de tensión, carga y longitud, puede tener varios conductores económicos si se calcula con un factor de pérdidas, precio de energía y tasa de descuento diferentes en cada caso.
4. Debe incluirse para el costo de la instalación solamente el precio de los conductores de fases, la longitud y el número de cables; la inclusión de todos los elementos que pueden constituir una acometida o alimentador como son bornas, canalización, cajas en mampostería, mano de obra, transporte, uso de equipo, utilidad y todos los que se puedan asociar con la instalación del conductor no se incluyen debido a que algunos de ellos dependen de la empresa que haga el montaje de obra y otros son estimaciones o aproximaciones, además al incluir estos elementos en el cálculo de conductor de instalación se estaría permitiendo incertidumbre o la inclusión de costos que pretendan justificar al conductor actual como el viable económicamente.
5. La utilización de un software aplicado correctamente en un ambiente laboral real permite la disminución en tiempo de ejecución de las memorias en un 20 %, facilita la verificación de errores y genera confianza en los resultados comparado con las hojas de cálculo o los archivos de texto.
6. Visual Studio 2015® gracias a su versión gratis completamente funcional y a los recursos en línea como soporte, ejemplos y foros permite un fácil diseño y ejecución de aplicaciones para escritorio incluso para programadores con poca experiencia.

10. RECOMENDACIONES

1. Esta aplicación va dirigida a cualquier persona con conocimientos en diseño de instalaciones eléctricas las cuales se encuentran definidas claramente en el artículo 10.2 RETIE, el cual indica las competencias profesionales de las personas que intervienen en el diseño, construcción y modificación de una instalación eléctrica. En todo caso el ingreso de la información, revisión y responsabilidad legal recaerá sobre el profesional competente que con su firma y matricula profesional aparezca en el informe presentado a los operadores de red o a los certificadores RETIE.
2. Es importante que el cálculo económico tenga la información mínima de los precios por metro de conductor y el precio del kWh actualizados para el año en el que se realice.
3. Para la elaboración de aplicativos basados en normatividad y orientados a distintos tipos de usuarios debe tenerse en cuenta solamente los datos que sean indispensables, en la medida de lo posible y justificando técnicamente debe reducirse al mínimo posible las variables, procesos y formulación matemática. la aplicación al ser utilizada como herramienta de ingeniería debe contar con procesos de validación técnica y permitir la fácil identificación y corrección de errores, además debe tener una interfaz agradable y sencilla.

Bibliografía

[1] M. S. S. J. Duncan Glover, Sistemas de Potencia, Análisis y Diseño.

[2] M. d. M. y. Energía, RETIE, 2013.

[3] R. d. Colombia, NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano, 1998.

[4] C. M. D. Henao, Instalaciones Eléctricas, 2011.

[5] J. Lucumi.