

***DISEÑO Y DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL  
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE CURVAS DE CARGA***

**JOSÉ YESID ARÉVALO RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ**

***DISEÑO Y DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL  
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE CURVAS DE CARGA***

**JOSÉ YESID ARÉVALO RODRÍGUEZ**

**Trabajo de Grado presentado como  
requisito para optar el título de Ingeniero  
Electricista**

**Director: CARLOS ALBERTO RODRÍGUEZ GUZMÁN  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Director**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C.,**

Los criterios expuestos, las opiniones expresadas y las conclusiones anotadas, son responsabilidad de su autor y no de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Salle.

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a Dios fuente de todo conocimiento y de toda bondad. A mis padres Siervo y Flor y a mis hermanos Susan, Nelson, César y Oscar por su apoyo incondicional. A Sandra y toda la familia Galeano Castro por su ayuda desinteresada. A los docentes, compañeros de estudio y amigos, que durante el proceso de aprendizaje colaboraron con su ejemplo, con sus críticas constructivas, para esta formación profesional y estructuración como personas.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a la UNIVERSIDAD DE LA SALLE y a su FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, que ha dejado gran huella no sólo en sus educandos y egresados sino en la Sociedad, ya que forma en la ciencia y en los valores, instruyendo a la persona de manera integral, con conciencia social, ofreciendo al país, el profesional que requiere Colombia para ser mejor.

Al Ingeniero Carlos Alberto Rodríguez Guzmán de la empresa CODENSA S.A. E.S.P. por su colaboración desinteresada.

Al Ingeniero y amigo Harlyn Yamir Garay Martínez por su valiosa participación en el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Oscar Mora Cruz por su colaboración y apoyo incondicional.

Y a todas aquellas personas y entidades que de una u otra forma prestaron su colaboración en la realización del presente trabajo de grado.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. HIPÓTESIS.....	17
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3.1. PREGUNTA GENERADORA .....	18
3.2. PREGUNTAS DIRECTRICES .....	18
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
6.1. MARCO TEÓRICO.....	21
6.1.1. ¿Qué es UML?.....	21
6.1.2. Diagramas de UML.....	21
6.1.3. Reglas de UML.....	22
6.1.4. Ciclo de vida del desarrollo de software .....	23
6.1.5. Visual Basic.....	25
6.1.6. Características Generales de Visual-Basic .....	25
6.1.7. Pasos para crear un programa en Visual Basic .....	26
6.1.8. Objetos encontrados en Visual Basic.....	26
6.1.9. Transformadores .....	30
6.1.10. Curva de carga.....	33
6.2. MARCO CONCEPTUAL.....	33
6.2.1. Método de selección de un transformador de distribución realizado por medio del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) .....	33
6.2.2. Población a estudiar .....	40

6.2.3. Planteamiento para el desarrollo del software.....	46
6.2.4. Manual del usuario .....	55
6.2.5. Validación de software .....	62
6.2.6. Diagramas de flujo y pruebas de escritorio de software de aplicación .....	634
6.2.7. Metodología de solución.....	72



## Índice de Gráficos

Gráfico 01. Forma inicial del formulario de Visual Basic .....	27
Gráfico 02. Etiquetas de Visual Basic .....	28
Gráfico 03. Cuadros de texto de Visual Basic .....	28
Gráfico 04. Cuadro de imagen en Visual Basic .....	29
Gráfico 05. Cuadro de almacenamiento de datos en Visual Basic.....	30
Gráfico 06. Curvas de eficiencia de transformadores trifásicos 75 kVA y 45 kVA. 32	
Gráfico 07. Curva de carga característica - Residencial Estratos 1-6 .....	41
Gráfico 08. Curva de carga característica – Comercial: Centros comerciales, Clubes, Comunicaciones, Bancos, Hoteles, Universidades, Hipermercados, Acueducto y Hospitales .....	42
Gráfico 09. Curva de carga característica – Industrial: Cementos, Alimentos, Maderas y muebles, Plásticos, Textiles, Bebidas, Flores, Tabaqueras, Hierro aluminio, Ladrilleras, Químicos y Petróleos.....	43
Gráfico 10. Curva punto óptimo de operación para transformador de 75 kVA .....	47
Gráfico 11. Curvas de carga sábados y festivos usuario comercial (Centros Comerciales) .....	52
Gráfico 12. Curvas de carga sábados y festivos usuario industrial (Cementos)...	52
Gráfico 13. Ventana de inicio del software .....	55
Gráfico 14. Ventana para seleccionar la red a analizar .....	56
Gráfico 15. Ventanas para inserción de datos. a) Residencial. b) Comercial. c) Industrial.....	57
Gráfico 16. Ventana para comprobación de valores .....	57
Gráfico 17. Ventana de resultados sin análisis.....	58
Gráfico 18. Ventana de resultados con análisis .....	59
Gráfico 19. Ventana de resultados aplicando las opciones .....	60

Gráfico 20. Ventana de resultados con gráfico de barras anexo.....	61
Gráfico 21. Ventana de resultados con curva de carga anexa.....	62

## Índice de Tablas

Tabla 1. Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación .....	34
Tabla 2. Factores de demanda para alimentadores de carga de alumbrado .....	35
Tabla 3. Factores de demanda para secadoras domésticas eléctricas de ropa... 35	
Tabla 4. Factores de demanda para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, estufas de sobreponer y otros electrodomésticos de cocina de más de 1,75 kW nominales. (La columna A se debe aplicar en todos los casos, excepto los recogidos en la nota 3).....	36
Tabla 5. Cálculo opcional de los factores de demanda de unidades multifamiliares con tres o más viviendas.....	38
Tabla 6. Factores de carga para usuarios residenciales. ....	45
Tabla 7. Factores de carga para usuarios comerciales. ....	45
Tabla 8. Factores de carga para usuarios industriales. ....	46
Tabla 9. Punto óptimo de operación para transformadores monofásicos .....	47
Tabla 10. Punto óptimo de operación para transformadores trifásicos .....	48
Tabla 11. Transformadores monofásicos de 5kVA a 167,5kVA serie AT $\leq$ 1,2kV, serie BT $\leq$ 1,2kV.....	49
Tabla 12. Transformadores trifásicos de 15kVA a 630kVA serie AT $\leq$ 15kV, serie BT $\leq$ 1,2kV.....	49
Tabla 13. Tabla de resultados obtenidos por medio del software.....	63



## RESUMEN

El trabajo realizado en este proyecto pretende desarrollar un software que sirva como soporte, para dar una alternativa al método de selección actual de un transformador de distribución el cual está determinado por el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050).

Para el diseño de este software se contemplaron los valores de demanda según el tipo de cliente, bien sea, residencial, comercial e industrial y cada una de sus áreas, con la ayuda de las curvas de carga característica para cada tipo de usuario, estas curvas fueron suministrados por la empresa distribuidora CODENSA S.A. E.S.P.

El resultado busca seleccionar el transformador que menos pérdidas técnicas proporcione al sistema y así mismo optimice su cargabilidad, es decir, que ofrezca los mejores resultados desde el punto de vista técnico y económico.

A la vez se busca hacer una comparación entre utilizar el transformador seleccionado por el software, y utilizar varios transformadores que ofrezcan la misma potencia.



## INTRODUCCIÓN

Para realizar el modelo del software se usará el lenguaje UML (Unified Modeling Language) el cual ayudará para visualizar, especificar, construir y documentar el sistema. Ante este lenguaje se obtendrán resultados y no procesos de la realización del software, eso se especificará en el interior de este documento.

El estudio de los Transformadores de Distribución es un campo que puede llevar a una optimización de gran parte del sistema de distribución. Es importante aclarar que el diseño de este software deja más espacios de estudio en el campo de análisis en lo que corresponde al área de Distribución de Energía Eléctrica.

El uso de herramientas de programación se ha considerado muy necesario actualmente, debido a la rapidez y versatilidad que se le puede dar a cualquier aplicación para lograr un alto desempeño sobre la tarea requerida. Es por esto que se decidió realizar este proyecto con la ayuda de Visual Basic, ya que ayuda a dar una visión gráfica y numérica de los aspectos requeridos en el aplicativo.

Actualmente la selección de transformadores de distribución se está llevando a cabo por medio de lo determinado por el Código Eléctrico Colombiano (Norma NTC 2050), que utiliza factores de diversidad para los sectores industrial, comercial y residencial.

El desarrollo del software está basado en un registro realizado por la empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P., el cual determina las curvas de carga para cada usuario en el transcurso de un día, mostrando en qué momento del día el usuario determinado está consumiendo el 100% de la demanda requerida por este.

La realización del software ha sido solicitada por la empresa de energía CODENSA S.A. E.S.P. para contar con una vía alterna para la selección de transformadores de distribución, lo cual es de mucha importancia, puesto que se lleva a un ahorro de tiempo y se ofrece la posibilidad de recibir más información del transformador que se va a seleccionar.



El software a diferencia del Código Eléctrico Colombiano, ofrece una visión desde los puntos de vista técnico y económico, ya que la norma como su nombre lo dice sólo especifica el aspecto técnico.

Es de gran importancia notar las características que se pueden encontrar en la realización de la selección de un transformador de distribución, bien sea, por el método actual Norma NTC 2050 o el método alternativo que se ha elaborado.



## **ANTECEDENTES**

La Resolución CREG 082 del 17 de Diciembre de 2002, sometió a consideración de los agentes, usuarios y terceros interesados, los principios generales conceptuales sobre la remuneración en distribución eléctrica, a partir de los cuales se establecería la metodología para determinar los cargos en dicha actividad.

Se destaca entonces, que la remuneración de los activos de nivel de tensión 1, que se otorgan al operador de red, se basa en la eficiencia de operación de los equipos instalados, de ahí la relevancia de evaluar el tema.

Es conveniente mencionar que en la Universidad de La Salle se han realizado trabajos de investigación acerca de alternativas de selección del transformador de distribución con respecto a su demanda.



## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El sistema de distribución actual ha mostrado un notable sobredimensionamiento de los transformadores de distribución, los cuales, están trabajando a una eficiencia aproximada de 30%.<sup>1</sup>

Los factores de diversidad que determina el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) están evaluados con respecto a coincidencias de que se tengan o no unos equipos conectados en un mismo momento del día, lo cual es una aproximación del transformador de distribución a utilizar.

El software a desarrollar busca analizar la demanda según el tipo de usuario para determinar, ¿Cuál es el transformador más eficiente en este caso o cuantos transformadores de menor potencia se pueden usar en reemplazo de uno de mayor potencia? teniendo en cuenta todos los aspectos técnicos y económicos.

---

<sup>1</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.





## **2. HIPÓTESIS**

Se puede considerar, que al desarrollar este método alternativo para la selección del transformador de distribución, se obtendrá un análisis más detallado del comportamiento del transformador y así mismo determina el punto de operación óptimo de este.

Al realizar el software se toma referencia de los aspectos más relevantes del transformador, como son, la eficiencia y las pérdidas aspectos que pueden ayudar al operador de red a observar desde un punto más detallado, el comportamiento del transformador, con respecto a la demanda que sea alimentada.



### **3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **3.1. PREGUNTA GENERADORA**

¿Es viable continuar con la selección de transformadores de distribución propuesta por la NTC 2050? o ¿Se puede diseñar un método que genere mejores beneficios? teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos

#### **3.2. PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Qué beneficios ofrece el método a desarrollar para la selección de un transformador de distribución en comparación con lo que ofrece la NTC 2050?

¿Sería posible mejorar el sistema cambiando un transformador de mayor potencia con varios de menor potencia que cubran la demanda solicitada?



## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y desarrollar un software que sirva como herramienta alternativa para optimizar la selección técnica y económica, de los transformadores de distribución que permita incrementar la eficiencia en los sistemas de distribución. Este aplicativo estará acoplado de acuerdo con parámetros técnicos y económicos, al mismo tiempo seleccione el transformador de distribución óptimo para una red específica y tenga en cuenta parámetros como, pérdidas, eficiencia, demanda y cargabilidad del transformador.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el nivel de cargabilidad estándar del transformador de distribución.
- Determinar el punto de operación óptimo de los transformadores de distribución.
- Hacer un análisis de varias metodologías existentes para determinar la de mejor viabilidad.
- Hacer una comparación técnica y económica, del método propuesto para la selección de transformadores de distribución vs. el determinado por el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050).



---

## 5. JUSTIFICACIÓN

El gran crecimiento de la demanda de energía eléctrica ha llevado a proporcionar alternativas para hacer de esta un uso más racional y eficiente, aprovechando en su mayoría los recursos que poseemos y obteniendo así los mejores beneficios, en este caso, desde el punto de vista del operador de red y del usuario.

El desarrollo de este estudio se considera conveniente, dada la necesidad de optimización técnica y económica que tienen todos los agentes involucrados en la cadena de distribución de energía.

Por lo tanto, se desarrollará un software para la selección del transformador, que garantice la optimización técnica y económica de este, permitiendo que los sistemas de distribución se ajusten a las necesidades macroeconómicas.

Además, la optimización de los transformadores de distribución es de gran importancia ya que son elementos representativos en las empresas de distribución, bien sea, en el mantenimiento preventivo y correctivo, como en inversión por expansión del sistema. De esto, toda mejora que se realice sobre los mismos redundará en reducción de costos, reducción en inversión, entre otros.



---

## 6. ESTUDIO REFERENCIAL

### 6.1. MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1. ¿Qué es UML?

UML es una especificación de notación orientada a objetos. Divide cada proyecto en un número de diagramas que representan las diferentes vistas del proyecto. Estos diagramas juntos son los que representa la arquitectura del proyecto.

Con UML se puede dejar a un lado el protagonismo excesivo que se le da los diagramas de clases, los cuales son una parte importante del sistema, pero sólo representa una vista estática, es decir muestra al sistema parado. Sabemos su estructura pero no sabemos que le sucede a sus diferentes partes cuando el sistema empieza a funcionar.

#### 6.1.2. Diagramas de UML.

Se Dispone de dos tipos diferentes de diagramas, los que dan una vista estática del sistema y los que dan una visión dinámica. Los diagramas estáticos son:

- Diagrama de clases: muestra las clases, interfaces, colaboraciones y sus relaciones. Son los más comunes y dan una vista estática del proyecto.
- Diagrama de objetos: Es un diagrama de instancias de las clases mostradas en el diagrama de clases. Muestra las instancias y como se relacionan entre ellas. Se da una visión de casos reales.
- Diagrama de componentes: Muestran la organización de los componentes del sistema. Un componente se corresponde con una o varias clases, interfaces o colaboraciones.
- Diagrama de despliegue: Muestra los nodos y sus relaciones. Un nodo es un conjunto de componentes. Se utiliza para reducir la complejidad de los diagramas de clases y componentes de un gran sistema. Sirve como resumen e índice.



- Diagrama de casos de uso: Muestran los casos de uso, actores y sus relaciones. Muestra quien puede hacer que y relaciones existen entre acciones (casos de uso). Son muy importantes para modelar y organizar el comportamiento del sistema.

Los diagramas dinámicos son:

- Diagrama de secuencia, Diagrama de colaboración: Muestran a los diferentes objetos y las relaciones que pueden tener entre ellos, los mensajes que se envían entre ellos. Son dos diagramas diferentes, que se puede pasar de uno a otro sin perdida de información, pero que nos dan puntos de vista diferentes del sistema. En resumen, cualquiera de los dos es un Diagrama de Interacción.
- Diagrama de estados: muestra los estados, eventos, transiciones y actividades de los diferentes objetos. Son útiles en sistemas que reaccionen a eventos.
- Diagrama de actividades: Es un caso especial del diagrama de estados. Muestra el flujo entre los objetos. Se utilizan para modelar el funcionamiento del sistema y el flujo de control entre objetos.

Como se puede ver el número de diagramas es muy alto, en la mayoría de los casos excesivos, y UML permite definir solo los necesarios, ya que no todos son necesarios en todos los proyectos.

### 6.1.3. Reglas de UML

Los bloques de construcción de UML no pueden simplemente combinarse de cualquier manera. Como cualquier lenguaje, UML tiene un número de reglas que especifican a qué debe parecerse un modelo bien formado. Un *modelo bien formado* es aquel que es semánticamente autoconsciente y está en armonía con todos sus modelos relacionados.

UML tiene reglas semánticas para:

- Nombres           Cómo llamar a los elementos, relaciones y diagramas.
- Alcance           El contexto que da un significado específico a un nombre.
- Visibilidad       Cómo se pueden ver y utilizar esos nombres por otros.



- Integridad      Cómo se relacionan apropiada y consistentemente unos elementos con otros.
- Ejecución      Qué significa ejecutar o simular un modelo dinámico.

Los modelos construidos durante el desarrollo de un sistema con gran cantidad de software tienden a evolucionar y pueden ser vistos por diferentes usuarios de formas diferentes y en momento diferentes. Por esta razón, es común en el equipo de desarrollo no sólo construir modelos bien formados, sino también construir modelos que sean:

- Abreviados      Ciertos elementos que ocultan para simplificar la vista.
- Incompletos    Pueden estar ausentes ciertos elementos.
- Inconsistentes No se garantiza la integridad del modelo.

Estos modelos que no llegan a ser bien formados son inevitables conforme los detalles de un sistema van apareciendo y mezclándose durante el proceso de desarrollo de software. Las reglas de UML estimulan (pero no obligan) a considerar las cuestiones más importantes de análisis, diseño e implementación que llevan a tales sistemas a convertirse en bien formados con el paso del tiempo.

#### 6.1.4. Ciclo de vida del desarrollo de software

UML es bastante independiente del proceso lo que significa que no está ligado a ningún ciclo de vida de desarrollo de software particular. Sin embargo, para obtener el máximo beneficio de UML, se debería considerar un proceso que fuese:

- Dirigido por los casos de uso.
- Centrado en la arquitectura.
- Interactivo e incremental.

*Dirigido por los casos de uso* significa que los casos de uso se utilizan como un artefacto básico para establecer el comportamiento deseado del sistema, para verificar y validar la arquitectura del sistema para las pruebas y para la comunicación entre las personas involucradas en el proyecto.



*Centrado en la arquitectura* significa que la arquitectura del sistema se utiliza como un artefacto básico para conceptualizar, construir, gestionar y hacer evolucionar el sistema en desarrollo.

Un *proceso interactivo* es aquel que involucra la gestión de un flujo de ejecutables del sistema. Un *proceso incremental* es aquel que involucra la continua integración de la arquitectura del sistema para producir esos ejecutables, donde cada nuevo ejecutable incorpora mejoras incrementales sobre el otro. Un conjunto, un proceso interactivo e incremental está *dirigido por el riesgo*, lo que significa que cada nueva versión se encarga de atacar y reducir los riesgos más significativos para el éxito del proyecto.

Este proceso dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental puede descomponerse en fases. Una *fase* es el intervalo de tiempo entre dos hitos importantes del proceso, cuando se cumplen un conjunto de objetivos bien definidos, se completan los artefactos y se toman las decisiones sobre si pasar o no a la siguiente fase. Hay cuatro fases en el ciclo de vida del desarrollo de software:

*La iniciación* es la primera fase del proceso, cuando la idea inicial para el desarrollo se lleva al punto de estar (al menos internamente) suficientemente bien fundamentada para garantizar la entrada en la fase de elaboración.

*La elaboración* es la segunda fase del proceso, cuando se definen la visión del producto y su arquitectura. En esta fase se expresan con claridad los requisitos del sistema, son priorizados y se utilizan para crear una sólida base arquitectónica. Los requisitos de un sistema pueden variar desde enunciados de carácter general hasta criterios precisos de evaluación, especificando cada uno un comportamiento funcional o no funcional y proporcionando una referencia para las pruebas.

*La construcción* es la tercera fase del proceso, cuando el software se lleva desde una base arquitectónica ejecutable hasta su disponibilidad para la comunidad de usuarios. Aquí también los requisitos del sistema y especialmente sus criterios de evaluación son constantemente reexaminados frente a las necesidades del proyecto, y los recursos se asignan al proyecto de forma apropiada para atacar los riesgos.

*La transición* es la cuarta fase del proceso, cuando el software está puesto en las manos de la comunidad de usuarios. El proceso del software raramente termina aquí, porque incluso durante esta fase el sistema es mejorado continuamente, se





erradican errores de programación, y se añaden características que no se incluían en una versión anterior.

Un elemento que distingue a este proceso y que afecta las cuatro fases es una iteración. Una *iteración* es un conjunto bien definido de actividades, con un plan y unos criterios de evaluación bien establecidos, que acaba en una versión, bien interna o externa. Esto significa que el ciclo de vida del desarrollo de software puede caracterizarse por involucrar un flujo continuo de versiones ejecutables de la arquitectura del sistema. Este énfasis en la arquitectura como un artefacto importante es el que conduce a UML a centrarse en el modelado de las diferentes vistas de la arquitectura de un sistema.<sup>2</sup>

#### 6.1.5. Visual Basic

El lenguaje de programación BASIC (Beginner's All purpose Symbolic Instruction Code ) nació en el año 1964 como una herramienta destinada a principiantes, buscando una forma sencilla de realizar programas, empleando un lenguaje casi igual al usado en la vida ordinaria ( en inglés), y con instrucciones muy sencillas y escasas.

#### 6.1.6. Características Generales de Visual-Basic

Visual-Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, en la que estas se desarrollan en una gran parte a partir del diseño de una interfase gráfica. En una aplicación Visual - Basic, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interfase gráfica.

Es por tanto un término medio entre la programación tradicional, formada por una sucesión lineal de código estructurado, y la programación orientada a objetos. Combina ambas tendencias. Ya que no podemos decir que VB pertenezca por completo a uno de esos dos tipos de programación, debemos inventar una palabra que la defina: PROGRAMACION VISUAL.

---

<sup>2</sup> BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James, JACOBSON, Ivar. El Lenguaje Unificado de Modelado, Addison Wesley. 1 ed 1999



---

### 6.1.7. Pasos para crear un programa en Visual Basic

- Creación de una interfase de usuario. Esta interfase será la principal vía de comunicación hombre máquina, tanto para salida de datos como para entrada. Será necesario partir de una ventana (Formulario) a la que le iremos añadiendo los controles necesarios.
- Definición de las propiedades de los controles (Objetos) que hayamos colocado en ese formulario. Estas propiedades determinarán la forma estática de los controles, es decir, como son los controles y para qué sirven.
- Generación del código asociado a los eventos que ocurran a estos objetos. A la respuesta a estos eventos (click, doble click, una tecla pulsada, etc.) le llamamos Procedimiento, y deberá generarse de acuerdo a las necesidades del programa.
- Generación del código del programa. Un programa puede hacerse solamente con la programación de los distintos procedimientos que acompañan a cada objeto. Sin embargo, Visual Basic ofrece la posibilidad de establecer un código de programa separado de estos eventos. Este código puede introducirse en unos bloques llamados Módulos, en otros bloques llamados Funciones, y otros llamados Procedimientos. Estos Procedimientos no responden a un evento acaecido a un objeto, sino que responden a un evento producido durante la ejecución del programa.

### 6.1.8. Objetos encontrados en Visual Basic

En este apartado del presente documento se hará una breve explicación de las herramientas utilizadas en Visual Basic para el desarrollo del software.

#### 6.1.8.1. Formulario

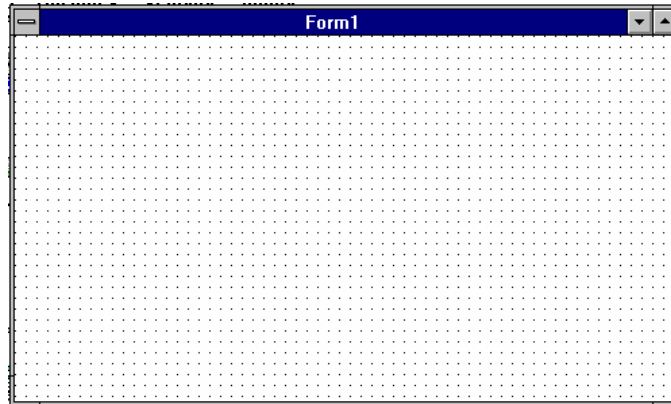
El primer objeto Visual Basic con que nos encontramos es el FORMULARIO. De hecho, cada vez que iniciamos Visual Basic (VB) nos presenta en pantalla un nuevo formulario, que tiene por defecto el nombre de Form1.

El Formulario es un objeto, que sirve de soporte de otros objetos. El nombre de FORMULARIO lo toma precisamente porque, al igual que un formulario de papel



contiene textos escritos, lugares donde podemos escribir, figuras, cajas donde podemos elegir una u otra opción, etc., en este cuadro gráfico que llamamos formulario, podemos introducir textos escritos, lugares donde podemos escribir, figuras, cajas donde podemos elegir una u otra opción.

En la figura 01 se observa la forma inicial del formulario de Visual Basic.



**Gráfico 01. Forma inicial del formulario de Visual Basic**

#### 6.1.8.2. Botón de comando

El Command Button o botón de comando es un objeto que sirve para introducir datos a través de la pantalla. El Botón de Comando tiene forma de la figura 2:



**Gráfico 02. Botones de comando de Visual Basic**

Al dar doble click sobre cualquier botón de comando, se accede a la ventana de código, donde se realiza la respectiva programación a cada uno de los mismos. El código de programación se debe insertar entre la sentencia de comando *Sub* y *End sub*, por ejemplo:

```
Private Sub Tol_Click()  
Total.Visible = True  
Total.Text = Pesos.Text - (-VT.Text)  
End Sub
```



### 6.1.8.3. Etiqueta

Una etiqueta es un control que nos permite presentar un texto. La etiqueta debe usarse en aquellos casos en los que exista una información estática o dinámica que no deba ser cambiada por el operador.

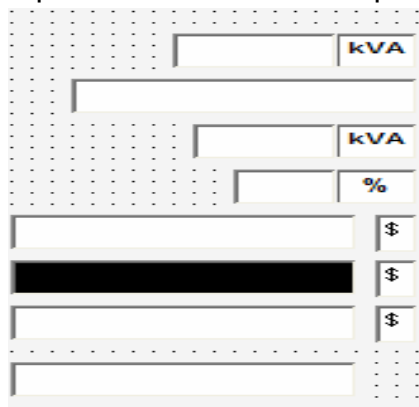


**Gráfico 02. Etiquetas de Visual Basic**

### 6.1.8.4. Caja de texto

Las cajas de texto son los controles en los que Visual Basic presenta o introduce textos. Es por tanto un control bidireccional. Normalmente se usan para introducción de textos, o para la presentación de aquellos que el operador pueda cambiar. Para cambiar o escribir un texto en una caja de texto, basta con conseguir que esa caja de texto tenga el foco y teclear el texto en el teclado. Esto se puede lograr, bien haciendo click con el ratón en esa caja de texto, bien con la tecla TAB, bien por programa.

La caja de texto no se debe usar nunca para presentar textos que el operador de la aplicación no deba cambiar. Úsese para ello la etiqueta, control no bidireccional, que además tiene la ventaja de ocupar menos memoria de programa.



**Gráfico 03. Cuadros de texto de Visual Basic**



Para el desarrollo de este software se utilizaron los cuadros de texto de fondo negro para inserción de datos y los cuadros de datos de fondo blanco para mostrar resultados.

#### 6.1.8.5. Control de imagen

El control de imagen se encuentra en la caja de herramientas estándar y permite insertar todo tipo de ficheros gráficos (.BMP, WMF, .ICO, .CUR)



**Gráfico 04. Cuadro de imagen en Visual Basic**

El intercambio dinámico de datos es una utilidad de Windows que utiliza Visual Basic, y nos permite crear aplicaciones que tomen datos una de otras.

#### 6.1.8.6. Control de datos

Para pasar datos de una aplicación a otra se necesitan al menos, dos aplicaciones (lógico), una que se deje leer, y la otra (u otras), que quieran leer la información en aquella.

Puede darse el caso que una aplicación esté recibiendo datos de otra aplicación, y a su vez envíe datos a una tercera.

A la aplicación que envía la información se le llama aplicación servidor, y a la que la recibe, aplicación cliente.

La aplicación servidor debe estar funcionando antes de que la aplicación cliente le pida la información. Si no es así, se generará un error.

Los datos a traspasar de una aplicación a otra pueden ser :

- Textos, de un Label o un TextBox.
- Imágenes, de un PictureBox.

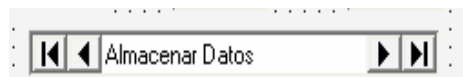


El origen de un intercambio DDE siempre es un formulario. Dentro de este formulario origen estará el Label, TextBox o PictureBox que contiene la información a enviar.

Para indicar que un formulario es origen de información para un intercambio DDE debemos decírselo en sus propiedades LinkMode y LinkTopic.

El destino de un texto ha de ser necesariamente un Label, un TextBox, y el destino de un gráfico debe ser un PictureBox.

Cuando queremos que uno de estos controles sea el destino de un intercambio DDE debemos indicarlo en sus propiedades LinkMode, LinkTopic, LinkItem, e indicarle el tiempo de espera para un intercambio en la propiedad LinkTimeout.<sup>3</sup>



**Gráfico 05. Cuadro de almacenamiento de datos en Visual Basic**

En el caso de la realización de este software se tomó como referencia para almacenamiento de datos Microsoft Access, por su solidez y compatibilidad.

#### 6.1.9. Transformadores

Un transformador es una máquina eléctrica estática, destinada a funcionar con corriente alterna, constituida por dos arrollamientos primario y secundario, que permite transformar la energía eléctrica, con unas magnitudes V-I determinadas, a otras con valores en general diferentes.<sup>4</sup>

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales deben tenerse en cuenta para obtener un modelo exacto de comportamiento de un transformador. Los principales aspectos que se deben considerar en la construcción de un modelo como este son:

<sup>3</sup> SUAREZ, Luis. Visual Basic, Guía del estudiante, 1 ed, 2000, 140 p.

<sup>4</sup> CÁRDENAS ALVAREZ, Wilson. AMEZQUITA PEPINOZA, Jorge Andrés. Estudio de Viabilidad para la Modificación de Redes Aéreas de baja Tensión a Nivel Residencial, del Sistema de Distribución de la Empresa de Energía de Bogotá. Santa Fé de Bogotá, 1998, 130 p. trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Eléctrica.



- Pérdidas en el cobre ( $I^2R$ ): Las pérdidas en el cobre son causadas por el calentamiento resistivo en los devanados primario y secundario del transformador. Son proporcionales al cuadrado de la corriente en los devanados.
- Pérdidas por corrientes parásitas: Las pérdidas por corrientes parásitas son provocadas por el calentamiento resistivo en el núcleo del transformador. Son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado el transformador.
- Pérdidas por histéresis: Las pérdidas por histéresis están asociadas con la reubicación de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada semiciclo. Son una función compleja y no lineal del voltaje aplicado al transformador.

#### 6.1.9.1. Eficiencia Del Transformador

Otro parámetro importante a tener en cuenta en los transformadores es su eficiencia, la cual se define por la ecuación 1:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{entr}} \times 100\% \quad (\text{Ec 1})$$

Teniendo:

$\eta$  = Eficiencia de la máquina.

$P_{sal}$  = Potencia de salida.

$P_{entr}$  = Potencia de entrada.

Debido a que la potencia de entrada es igual a la potencia de salida más las pérdidas se obtiene como resultado la ecuación 2.

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + P_{er}} \times 100\% \quad (\text{Ec 2})$$

Teniendo:

$P_{er}$  = Pérdidas del equipo

Para calcular la eficiencia de un transformador con una carga dada, se deben adicionar las pérdidas del devanado y aplicar la ecuación 2, ya que la potencia de salida esta dada por la ecuación 3:



$$P_{SAL} = V_s I_s \cos \theta \quad (\text{Ec } 3)$$

Teniendo:

$V_s$  = Voltaje de salida.

$I_s$  = Voltaje de salida.

$\cos\theta$  = Factor de potencia.

Finalmente la eficiencia de un transformador se puede expresar por medio de la ecuación 4:

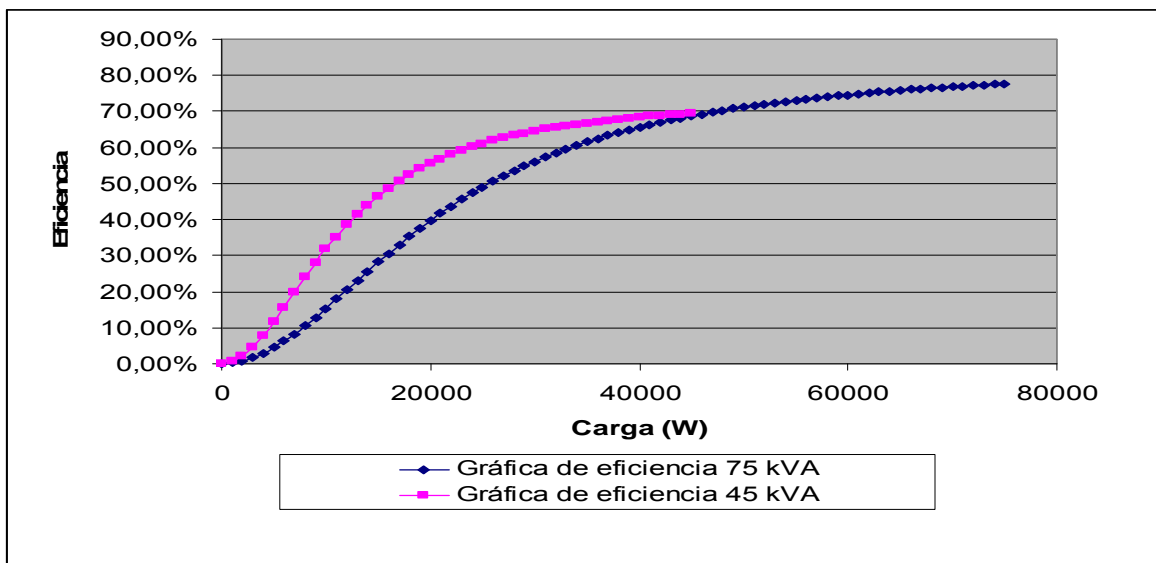
$$\eta = \frac{V_s I_s \cos\theta}{P_{Cu} + P_{núcleo} + V_s I_s \cos\theta} \times 100\% \quad (\text{Ec } 4)$$

Teniendo:

$P_{Cu}$  = Pérdidas en el cobre (pérdidas variables).

$P_{Fe}$  = Pérdidas en el hierro (pérdidas constantes).<sup>5</sup>

En el gráfico 06 se muestra la curva de eficiencia del transformador de 75 kVA trifásico y el transformador trifásico de 45 kVA:



**Gráfico 06. Curvas de eficiencia de transformadores trifásicos 75 kVA y 45 kVA**

<sup>5</sup> CHAPMAN, Estephan Maquinas Eléctricas, Mexico, ed. Mc Graw Hill, 1999.





Según el gráfico anterior se puede observar que cuando el transformador de 45 kVA alcanza el punto de plena carga con una eficiencia de 72.33% el transformador de 75 kVA está aproximado a su punto óptimo de operación. Al alcanzar el punto de plena carga la eficiencia del transformador de 75 kVA es de 77.64%.

#### 6.1.10. Curva de carga

Representa las variaciones de la demanda de un ciclo definido y se muestra de acuerdo al tiempo de referencia.

##### 6.1.10.1. Curva de carga diaria

Es la que representa el comportamiento de la demanda por un periodo determinado, que en este caso es de un día.

La curva de carga permite observar la variación de la demanda, lo que redundará en mayor y mejor información para la selección de los equipos de transformación, especialmente en lo que se refiere al límite de sobrecarga.<sup>6</sup>

## 6.2. MARCO CONCEPTUAL

### 6.2.1. Método de selección de un transformador de distribución realizado por medio del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)

El método utilizado por el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) está desarrollado por medio de factores de demanda, los cuales determinan la probabilidad coincidencias de consumos en una hora determinada del día.

De acuerdo al Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) estos factores de demanda varían según el número de usuarios que están siendo alimentados por el transformador o el área que vaya a ser alimentada por este.

La carga mínima de alumbrado por metro cuadrado de superficie del suelo, no debe ser menor a la especificada en la tabla 1 para las ocupaciones relacionadas. La superficie del suelo de cada planta se debe calcular a partir de las dimensiones exteriores de la edificación, unidad de vivienda u otras áreas involucradas. Para las

---

<sup>6</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



unidades de vivienda, la superficie calculada de suelos no debe incluir los porches abiertos, los garajes ni los espacios no utilizados o sin terminar que no sean adaptables para su uso futuro.

- Los valores unitarios de estos cálculos se basan en las condiciones de carga mínima y en un factor de potencia de 100% y puede que no ofrezcan capacidad suficiente para la instalación contemplada.

Tipo de ocupación	Carga unitaria (VA/m <sup>2</sup> )
Cuarteles y auditorios	10
Bancos	38
Barberías y salones de belleza	32
Iglesias	10
Clubes	22
Juzgados	22
Unidades de vivienda	32
Garajes públicos (propriadamente dichos)	5
Hospitales	22
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina	22
Edificios industriales y comerciales	22
Casas de huéspedes	16
Edificios de oficinas	38
Restaurantes	22
Colegios	32
Tiendas	32
Depósitos	2,5
En cualquiera de los lugares anteriores excepto viviendas	
- Lugares de reunión y auditorios	10
Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	5
Lugares de almacenaje	2,5

**Tabla 1. Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación<sup>7</sup>**

La tabla 1 muestra la cantidad de VA que deben ser consumidos por el usuario, para alumbrado general, según el área que vaya a ser ocupada por este mismo.

#### 6.2.1.1. Alumbrado general

Los factores de demanda de la tabla 2 se deben aplicar a la parte total de la carga calculada del circuito ramal de alumbrado general. Esos factores no se deben aplicar para el número de circuitos ramales de alumbrado general.

<sup>7</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.



Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120000	35
	A partir de 120000	25
Hospitales	Primeros 50000 o menos	40
	A partir de 50000	20
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina	Primeros 20000 o menos	50
	De 20001 a 100000	40
	A partir de 100000	30
Depósitos	Primeros 12500 o menos	100
	A partir de 12500	50
Todos los demás	VA totales	100

**Tabla 2. Factores de demanda para alimentadores de carga de alumbrado<sup>8</sup>**

La tabla 2 determina factores de demanda según el número de kVA consumidos por cada tipo de usuario, bien sea, unidades de vivienda, hospitales, hoteles y moteles, depósitos y todos los demás.

#### 6.2.1.2. Carga para artefactos en unidades de vivienda

Se permite aplicar un factor de demanda del 75% de la capacidad nominal por placa característica del artefacto, para cuatro o más artefactos fijos que no sean estufas eléctricas, secadora, equipo de calefacción de ambiente o de aire acondicionado, servidos por el mismo alimentador en viviendas unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares.

Número de secadoras	Factor de demanda %
1	100
2	100
3	100
4	100
5	80
6	70
7	65
8	60
9	65
10	50
11-13	45
14-19	40
20-24	35
25-29	32,5
30-34	30
35-39	27,5
De 40 en adelante	25

**Tabla 3. Factores de demanda para secadoras domésticas eléctricas de ropa<sup>9</sup>**

<sup>8</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.



La tabla 3 determina los factores de demanda según el número de secadoras domésticas eléctricas en unidades de vivienda.

Número de artefactos	Demanda máxima (Véase notas)	Factor de demanda % (Véase nota 3)	
	Columna A (no más de 12 kW nominales)	Columna B (menos de 3,5 kW nominales)	Columna C (de 3,5 a 8,75 kW nominales)
1	8	80	80
2	11	75	65
3	14	70	55
4	17	66	50
5	20	62	45
6	21	59	43
7	22	56	40
8	23	53	36
9	24	51	35
10	25	49	34
11	26	47	32
12	27	45	32
13	28	43	32
14	29	41	32
15	30	40	32
16	31	39	28
17	32	38	28
18	33	37	28
19	34	36	28
20	35	35	28
21	36	34	26
22	37	33	26
23	38	32	26
24	39	31	26
25	40	30	26
26-30	15 más 1kW por	30	24
31-40	cada estufa	30	22
41-50	25 más 0,75 kW por	30	20
51-60	cada estufa	30	18
De 61 en adelante		30	16

**Tabla 4. Factores de demanda para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, estufas de sobreponer y otros electrodomésticos de cocina de más de 1,75 kW nominales. (La columna A se debe aplicar en todos los casos, excepto los recogidos en la nota 3)<sup>10</sup>**

La tabla 4 determina los factores de demanda según el número de estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, estufas de sobreponer y otros electrodomésticos de cocina de más de 1,75 kW nominales para unidades de vivienda.

<sup>9</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.

<sup>10</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.



---

Notas a la tabla 4:

1. Todas las estufas de más de 12 kW hasta 27 kW tienen el mismo valor nominal. Para las estufas individuales de más de 12 kW pero no más de 27 kW, se debe aumentar la demanda máxima de la columna A un 5% por cada kW adicional o fracción, por encima de los 12 kW.
2. Las estufas de más de 8.75 kW hasta 27 kW son de distinto valor nominal. Para estufas con potencia individual de más de 8.75 kW y distinto valor nominal pero que no superen los 27 kW, se debe calcular un valor nominal medio sumando valores nominales de todas las estufas para obtener la carga total conectada (poniendo 12 kW por cada estufa de menos de 12 kW) y dividiendo el total del número de estufas. Después se debe aumentar la demanda máxima a la columna A un 5% por cada kW o fracción que exceda de 12 kW.
3. De más de 1.75 kW hasta 8.75 kW. En lugar del método de la columna A se permite añadir la potencia nominal de todos los artefactos electrodomésticos de más de 1.75 kW nominales pero no más de 8.75 kW y multiplicar la suma por los factores de demanda de las columnas B o C, según el número de artefactos. Cuando la potencia de los artefactos electrodomésticos corresponda a las columnas B y C se deben aplicar los factores de demanda de cada columna a los artefactos de esa columna y sumar los resultados.
4. Carga del circuito ramal: se permite calcular la carga del circuito ramal de una estufa según la Tabla 4. La carga del circuito de un horno de pared o de una estufa en el mostrador debe ser el valor de la placa de características del artefacto. La carga de un circuito ramal de una estufa de sobreponer y no más de dos hornos de pared conectados todos al mismo ramal y situados en la misma cocina, se debe calcular sumando los valores de la placa de características de cada artefacto y considerando ese total como equivalente a una estufa.
5. Esta tabla se aplica también a artefactos electrodomésticos de cocina de más de 1.75 kW utilizados en programas educativos.

El Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) determina un método alternativo para el cálculo opcional de los factores de demanda en unidades multifamiliares, el cual se muestra en la tabla 5.



Número de unidades de vivienda	Factor de demanda %
3-5	45
6-7	44
8-10	43
11	42
12-13	41
14-15	40
16-17	39
18-20	38
21	37
22-23	36
24-25	35
26-27	34
28-30	33
31	32
32-33	31
34-36	30
37-38	29
39-42	28
43-45	27
46-50	26
51-55	25
56-61	24
De 62 en adelante	23

**Tabla 5. Cálculo opcional de los factores de demanda de unidades multifamiliares con tres o más viviendas.<sup>11</sup>**

La tabla 5 determina los factores de demanda para unidades multifamiliares con tres o más viviendas (cálculo opcional).<sup>12</sup>

A continuación se presenta el análisis que fue utilizado para el desarrollo diseño del software y los parámetros utilizados.

#### 6.2.1.2. Ejemplo de selección del transformador de distribución por medio del Código Eléctrico Colombiano

Para determinar el transformador a utilizar para los usuarios residenciales se hará uso de la tabla 5 y para los usuarios comerciales e industriales se hará uso de la tabla 2.

<sup>11</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.

<sup>12</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.



Las tablas 3 y 4 son utilizadas en el sector residencial, en caso tal que operador de red tenga conocimiento de los equipos instalados, la tabla 5 determina factores de demanda en caso de que se tenga conocimiento del área que va a ser alimentada.

Determinando la zona que va a ser alimentada se encuentra:

Tipo de usuario	Potencia (kVA)
Estrato 1	20
Centro comercial	20
Comunicaciones	10
Cementos	25
Alimentos	15

Se tiene en cuenta que sean 10 usuarios. Para los usuarios estrato 1 la tabla determina que si son 8-10 usuarios el factor de demanda es del 43%. Esto quiere decir que si se calcularon 50kVA la potencia a instalar para este usuario es de 8.6kVA.

Para hallar la potencia solicitada por los otros usuarios la tabla 2 determina que si el usuario no es correspondiente a unidades de vivienda, hospitales, hoteles y moteles hace parte de todos los demás, en este caso el factor de demanda es del 100%, de lo anterior obtenemos:

20 kVA solicitados por el cliente centros comerciales.

10 kVA solicitados por el cliente comunicaciones.

25 kVA solicitados por el cliente cementos.

15 kVA solicitados por el cliente alimentos.

Haciendo la suma algebraica de los valores que se obtuvieron anteriormente se tiene:

$$P_T = 8.6 + 20 + 10 + 25 + 15 = 78.6kVA$$

De lo anterior se observa que el transformador a ser seleccionado es un transformador trifásico de 112.55kVA, ya que es el transformador de capacidad más cercana hacia arriba de la respuesta obtenida.

Nota: Los datos tomados para la realización de este ejemplo se aplicarán al ejemplo a realizar en el software.



### 6.2.2. Población a estudiar

Para el desarrollo del software se utilizaron como insumo las curvas de carga de los tres tipos de usuarios, residencial, comercial e industrial, las cuales fueron suministradas por CODENSA S.A. E.S.P. Con respecto a estos datos se realizó el análisis completo.

Los valores de las pérdidas en los transformadores utilizados en el estudio son los especificados por las normas NTC 818 (tabla 9) y NTC 819 (tabla 10), en las cuales están definidas las pérdidas con y sin carga de los transformadores monofásicos y trifásicos respectivamente.

En cada curva se puede observar en qué momento del día se puede determinar la carga máxima que está dada en por unidad.

A continuación se presentan las curvas de carga representativas y el proceso a seguir:

El gráfico 07 muestra las curvas de carga de los seis estratos.

El gráfico 08 muestra las curvas de carga de los usuarios comerciales entre los que se encuentran: Centros comerciales, Clubes, Comunicaciones, Bancos, Hoteles, Universidades, Hipermercados, Acueducto y Hospitales.

El gráfico 09 muestra las curvas de carga de los usuarios industriales entre los que se encuentran: Cementos, Alimentos, Maderas y Muebles, Plásticos, Textiles, Bebidas, Flores, Tabaqueras, Hierro Aluminio, Ladrilleras, Químicos y Petróleo.



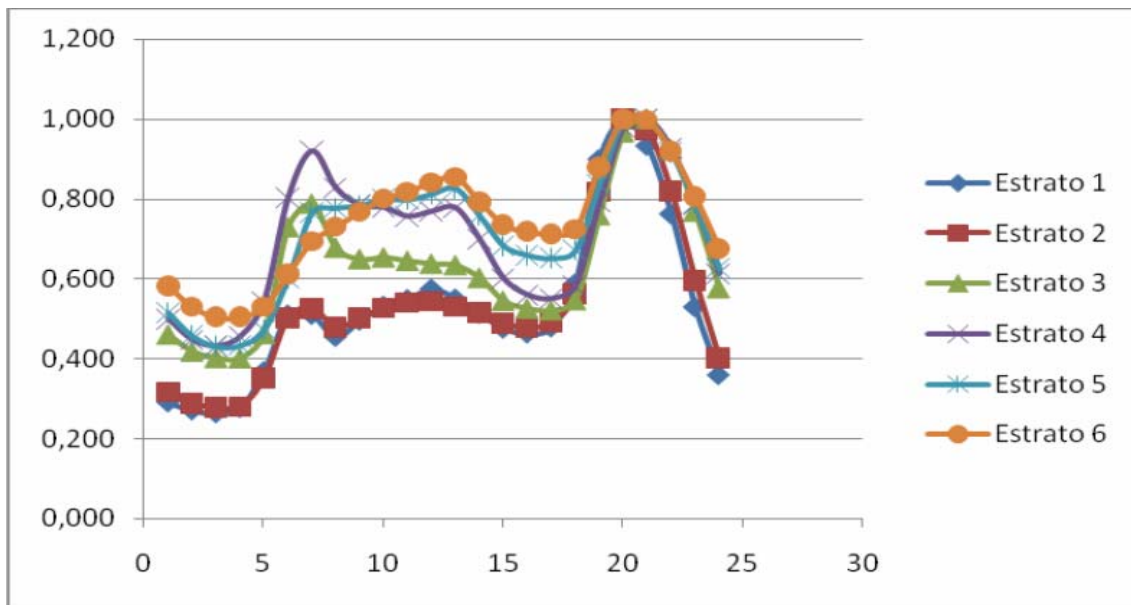
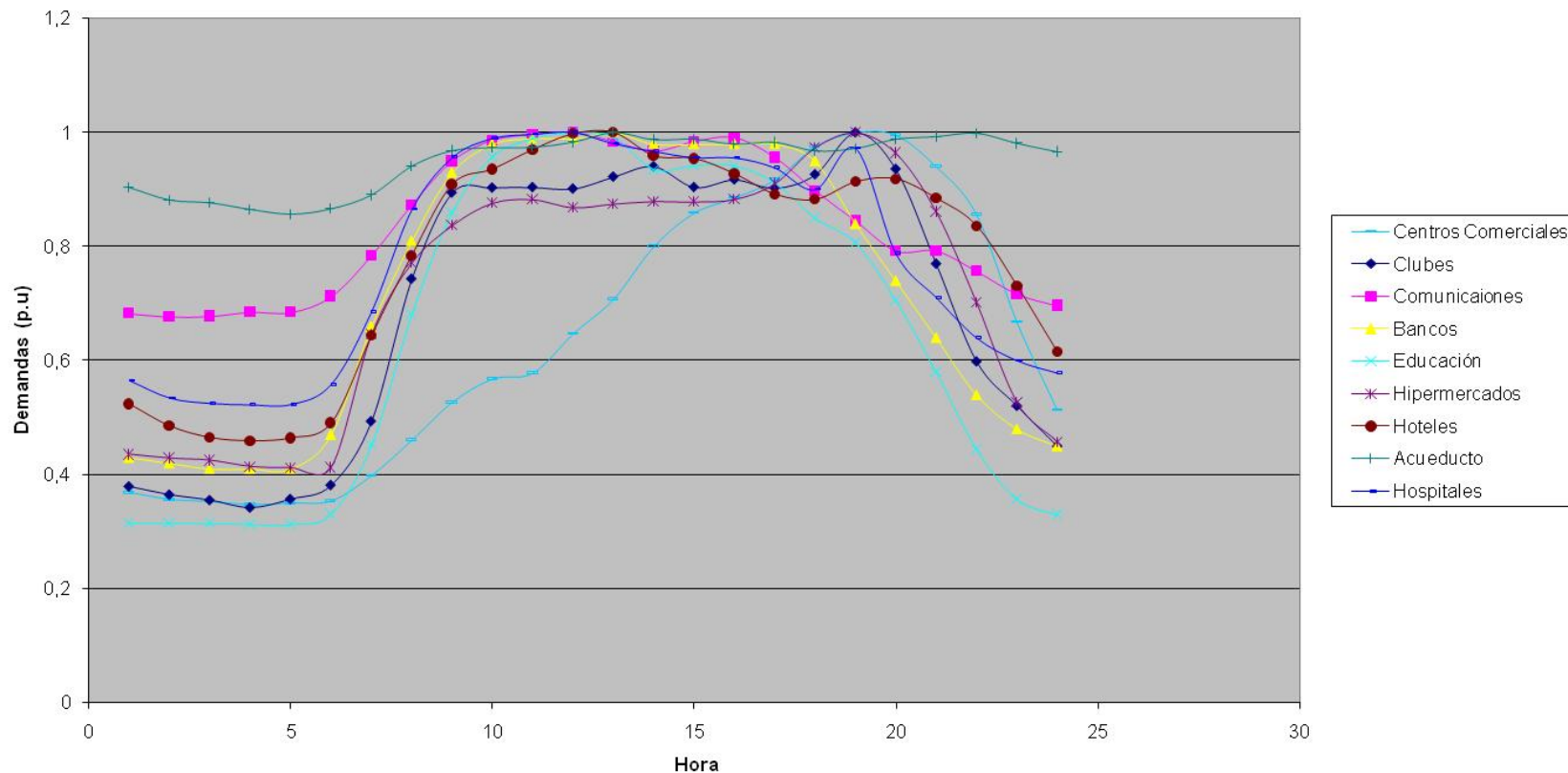


Gráfico 07. Curva de carga característica - Residencial Estratos 1-6<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



### Demandas sector comercial

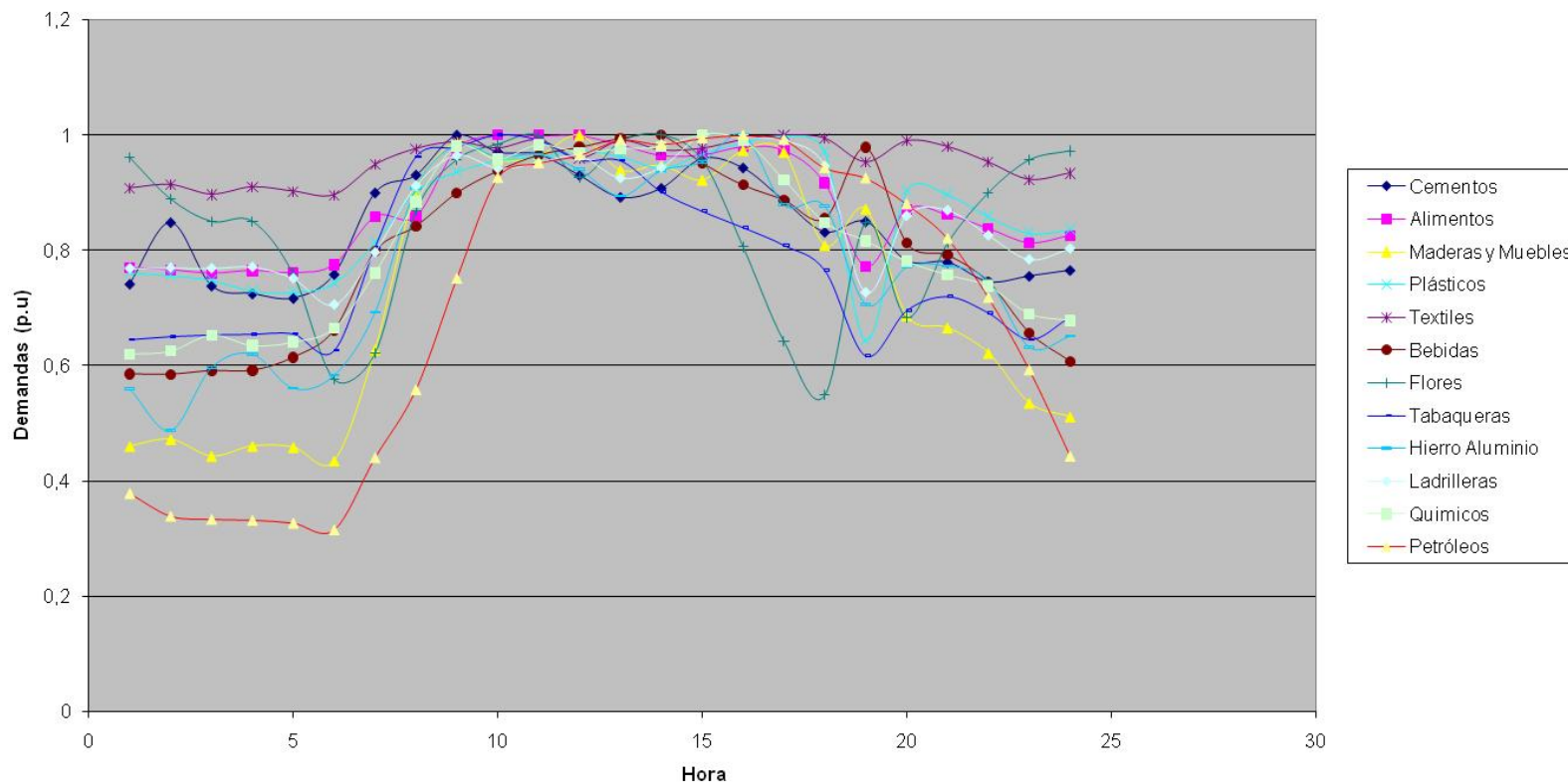


**Gráfico 08. Curva de carga característica – Comercial: Centros comerciales, Clubes, Comunicaciones, Bancos, Hoteles, Universidades, Hipermercados, Acueducto y Hospitales**<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



### Demandas sector industrial



**Gráfico 09. Curva de carga característica – Industrial: Cementos, Alimentos, Maderas y muebles, Plásticos, Textiles, Bebidas, Flores, Tabaqueras, Hierro aluminio, Ladrilleras, Químicos y Petróleos.<sup>15</sup>**

<sup>15</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



Haciendo una comparación de las curvas de carga anteriormente mostradas se puede ver que varios de los clientes coinciden en la demanda máxima en una hora determinada, como son:

- En la hora 10 los sectores de Alimentos e Industria Tabaquera alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 12 los sectores de Comunicaciones, Universidades, Hospitales y Maderas y muebles alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 13 los sectores de Bancos, Hoteles y Acueducto alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 14 los sectores de Bebidas y Flores alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 15 los sectores de Ladrilleras y Químicos alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 16 los sectores de Hierro y Acero y Petróleo alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 17 los sectores de Plásticos y Textiles alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 19 los sectores de Centros Comerciales, Clubes e Hipermercados alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 20 los estratos 1, 2 y 6 alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 21 los estratos 3, 4 y 5 alcanzan el 100% de la demanda máxima.
- En la hora 9 el sector de Cementos es el único que alcanza el 100% de la demanda máxima.
- Al observar las curvas de carga se puede determinar que en muchos de los casos no hay coincidencia en los puntos de demanda máxima.



- Es importante tener en cuenta que el Código Eléctrico Colombiano en la mayoría de los sectores comercial e industrial, hace uso de la tabla 2 que determina que la capacidad que se instala es el 100% de la que el usuario pide, esto conlleva a un sobredimensionamiento del transformador a seleccionar.

Con la ayuda de las curvas de carga se puede determinar el factor de carga de cada uno de los usuarios, los cuales están consignados en las tablas 6, 7 y 8.

Estrato	Factor de carga
Estrato 1	0.527
Estrato 2	0.533
Estrato 3	0.638
Estrato 4	0.704
Estrato 5	0.711
Estrato 6	0.738

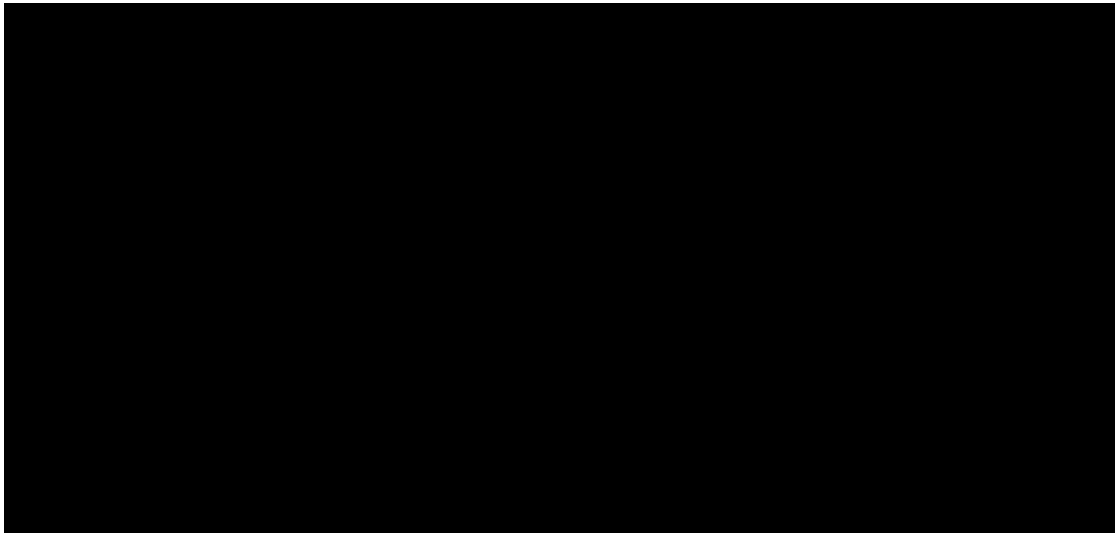
Tabla 6. Factores de carga para usuarios residenciales.<sup>16</sup>

Sector	Ordinario		Sabado		Festivo	
	Factor Potencia	Factor Carga	Factor Potencia	Factor Carga	Factor Potencia	Factor Carga
Centros comerciales	0.9656	0.6451	0.9581	0.6390	0.9570	0.6013
Clubes	0.9509	0.6918	0.9535	0.7046	0.9418	0.6740
Comunicaciones	0.9563	0.8364	0.9557	0.8856	0.9538	0.9475
Corp.Bancarias	0.943	0.743	0.939	0.836	0.935	0.939
Educación	0.9703	0.6482	0.9637	0.6247	0.9524	0.8926
Hipermercados	0.9855	0.7188	0.9839	0.7746	0.9809	0.7162
Hotelero	0.9248	0.7704	0.9207	0.7557	0.9152	0.8216
Acueducto	0.97557	0.94974	0.97315	0.91496	0.98091	0.88208
Hospitales	0.9248	0.7704	0.9207	0.9149	0.9152	0.8216

Tabla 7. Factores de carga para usuarios comerciales.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.

<sup>17</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



**Tabla 8. Factores de carga para usuarios industriales.** <sup>18</sup>

### 6.2.3. Planteamiento para el desarrollo del software

Para el desarrollo del software de simulación se tomaron en cuenta las características más relevantes en la selección de un transformador de distribución, como son:

#### 6.2.3.1. Análisis técnico

Para realizar el análisis técnico del transformador a utilizar se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

##### 6.2.3.1.1. Punto óptimo de operación de un transformador de distribución

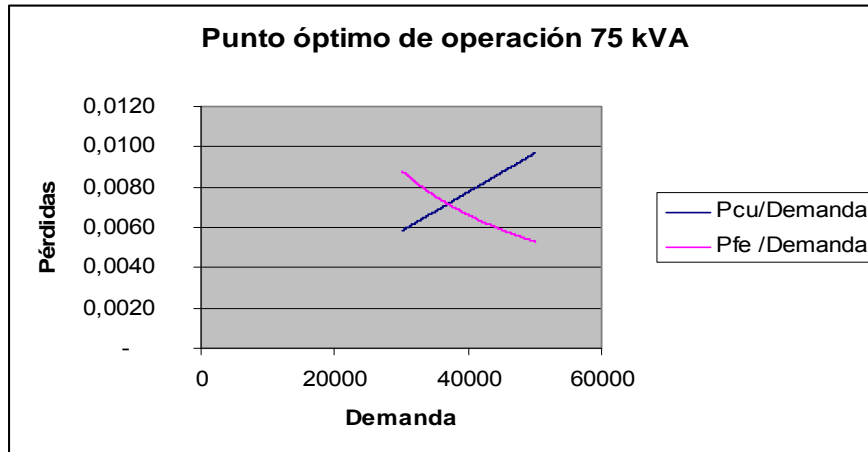
Para los transformadores monofásicos se tuvieron en cuenta todos con potencias desde 5kVA hasta 167,5 kVA y para los transformadores trifásicos se tomaron los valores correspondientes desde el transformador de 15 kVA hasta el transformador de 630 kVA.

Para tener una primera aproximación del punto óptimo de operación, desde el punto de vista de pérdidas, de los transformadores de distribución se tomaron los datos de las pérdidas en el cobre y en el hierro de las tablas 11 y 12, y se analizó su comportamiento con respecto a la demanda.

<sup>18</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



En el gráfico 9 se muestra un ejemplo del punto óptimo de operación, en este caso se especificará en el transformador de 75 kVA trifásico.



**Gráfico 10. Curva punto óptimo de operación para transformador de 75 kVA<sup>19</sup>**

El punto óptimo de operación se encuentra aproximadamente en el 50% de su capacidad nominal, caso en el cual, la suma algebraica de las pérdidas en el cobre (pérdidas variables) con las pérdidas del hierro (pérdidas constantes), con respecto a la demanda son mínimas e iguales.

Las tablas 9 y 10 muestran los valores de punto óptimo de operación de los transformadores de distribución monofásicos y trifásicos respectivamente:

Capacidad transformador (kVA)	Punto óptimo de operación (kVA)
5	2.89
10	5.98
15	8.99
25	14.67
37.5	21.64
50	28.1
75	40.84
100	53.81
167.5	87.9

**Tabla 9. Punto óptimo de operación para transformadores monofásicos<sup>20</sup>**

<sup>19</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.

<sup>20</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.



Capacidad transformador (kVA)	Punto óptimo de operación (kVA)
15	7.62
30	15.37
45	22.67
75	37.02
112.5	54.8
150	71.93
225	103.92
300	138.88
400	177.58
500	217.35
630	267.39

**Tabla 10. Punto óptimo de operación para transformadores trifásicos<sup>21</sup>**

Para hallar las pérdidas en el cobre con respecto a la demanda se utiliza la ecuación 5:

$$P_{TC} = \frac{\left(\frac{P_D}{P_T}\right)^2 * P_{CU}}{P_D} \quad (\text{Ec. 5})$$

Teniendo:

$P_{TC}$  = Pérdidas totales en el cobre con respecto a la demanda.

$P_{CU}$  = Pérdidas en el cobre normalizadas.

$P_D$  = Potencia demandada.

$P_T$  = Potencia del transformador.

Y para hallar las pérdidas en el hierro con respecto a la demanda se utiliza la ecuación 6:

$$P_{TFE} = \frac{P_{FE}}{P_D} \quad (\text{Ec. 6})$$

<sup>21</sup> Fuente: CODENSA S.A. E.S.P.





$P_{TFE}$  = Pérdidas totales en el hierro.

$P_{FE}$  = Pérdidas en el hierro normalizadas.

A continuación se muestran las tablas que sirvieron como soporte para determinar el punto óptimo de operación de los transformadores de distribución.

Valores máximos declarados permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ) Pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga ( $P_c$ ) y tensión de cortocircuito a 85 °C ( $U_z$ )				
Potencia kVA	$I_0$ % de $I_n$	$P_0$ W	$P_c$ W	$U_z$ %
5	2,5	30	90	3,0
10	2,5	50	140	3,0
15	2,4	70	195	3,0
25	2,0	100	290	3,0
37,5	2,0	135	405	3,0
50	1,9	160	510	3,0
75	1,7	210	710	3,0
100	1,6	260	900	3,0
167,5	1,5	375	1365	3,0

**Tabla 11. Transformadores monofásicos de 5kVA a 167,5kVA serie AT $\leq$ 1,2kV, serie BT $\leq$ 1,2kV<sup>22</sup>**

Valores máximos declarados permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ) Pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga ( $P_c$ ) y tensión de cortocircuito a 85 °C ( $U_z$ )				
Potencia kVA	$I_0$ % de $I_n$	$P_0$ W	$P_c$ W	$U_z$ %
15	4,4	80	310	3,0
30	3,6	135	515	3,0
45	3,5	180	710	3,0
75	3,0	265	1090	3,5
112,5	2,6	365	1540	3,5
150	2,4	450	1960	4,0
225	2,1	615	2890	4,0
300	2,0	765	3575	4,5
400	1,9	930	4730	4,5
500	1,7	1090	5780	5,0
630	1,6	1285	7140	5,0

**Tabla 12. Transformadores trifásicos de 15kVA a 630kVA serie AT $\leq$ 15kV, serie BT $\leq$ 1,2kV<sup>23</sup>**

<sup>22</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Electrotecnia. Transformadores Monofásicos Autorefrigerados y Sumergidos en Líquido. Corriente Sin Carga, Pérdidas y Tensión de Corto Circuito, NTC 818, 1995.



Para determinar el transformador óptimo técnica y económicamente, por medio de este software, se realizó el siguiente procedimiento:

#### 6.2.3.1.2. Demandas solicitadas

Se creó una base de datos en Microsoft Access para llevar un registro de las demandas solicitadas según el tipo de cliente, y a la vez tener un registro de los datos luego de instalado el transformador.

La realización de esta base de datos sirve como soporte en un futuro para establecer un consolidado el cual tiene un límite que es definido con anterioridad por el usuario.

#### 6.2.3.1.3. Determinación de las demandas

Con los datos de las gráficas consignadas anteriormente, se busca hallar las demandas en cada instante de tiempo, para cada uno de los casos, bien sea, residencial, comercial o industrial, o en dado caso los tres.

Para determinar la demanda, se multiplica la demanda que solicita el usuario por el valor que se obtiene de la curva de carga, según la hora determinada y esto se multiplica por el factor de demanda (suministrado por CODENSA S.A. E.S.P.). Dado esto se aplica la ecuación 7:

$$D_{Tn} = \sum D_s * D_n * FD \quad (\text{Ec. 7})$$

Teniendo:

$D_{Tn}$  = Demanda total en la hora determinada.

$D_s$  = Demanda solicitada por el cliente en kW.

$D_n$  = Demanda consumida por el cliente en la hora determinada, la cual está dada en por unidad (Valor obtenido de cada gráfica según el tipo de usuario).

Con respecto a esta demanda se hallan las pérdidas totales al año en el sistema, las cuales están determinadas teniendo en cuenta que únicamente se están tomando los días ordinarios del año, para el sector residencial 365 días y para los sectores comercial e industrial 243 días, todo lo anterior está determinado por la ecuación 8:

---

<sup>23</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Electrotecnia. Transformadores Monofásicos Autorefrigerados y Sumergidos en Líquido. Corriente Sin Carga, Pérdidas y Tensión de Corto Circuito, NTC 819, 1995.



$$P_{OR} = \left( \sum_{n=1}^{24} P_{Fe} + \left( \frac{D_{RES}}{P_N} \right)^2 \times P_{Cu} \right) * 365 + \left( \left( \sum_{n=1}^{24} P_{Fe} + \left( \frac{D_{COM}}{P_N} \right)^2 \times P_{Cu} \right) + \left( \sum_{n=1}^{24} P_{Fe} + \left( \frac{D_{IND}}{P_N} \right)^2 \times P_{Cu} \right) \right) * 243$$

(Ec. 8)

Teniendo:

$P_{OR}$  = Pérdidas en días ordinarios.

$P_{Fe}$  = Pérdidas en el hierro normalizadas.

$P_{Cu}$  = Pérdidas en el cobre normalizadas.

$P_N$  = Potencia nominal del transformador.

$D_{RES}$  = Demanda en el sector residencial.

$D_{COM}$  = Demanda en el sector comercial.

$D_{IND}$  = Demanda en el sector industrial.<sup>24</sup>

Para involucrar el comportamiento de los clientes comercial e industrial en los días sábados y festivos fue necesario realizar una aproximación matemática que se explica a continuación:

Se realizó un cálculo única y exclusivamente de los días ordinarios como se mostró en la ecuación 9. Haciendo un análisis de las curvas de carga, se pudo determinar que los valores de demanda en los días sábados y festivos, en muchos casos, no superan el valor de 0.2p.u debido a esto se tomó el valor obtenido de las pérdidas en los días ordinarios y se le sumó el 20% para así determinar un valor más aproximado de las demandas, lo anterior se muestra en la ecuación 9.

Para hacer una mejor aclaración del comportamiento de un usuario comercial o industrial en los gráficos 9 y 10 se observarán las curvas de carga de un sector comercial y un sector industrial respectivamente.

$$P_T = P_{OR} * (1 + 0.2) \quad (\text{Ec. 9})$$

Teniendo

$P_T$  = Pérdidas totales.

<sup>24</sup> TIRAVANTI, Eduardo. Máquinas Eléctricas, 30 de Mayo de 2005. <http://www.stilar.net>

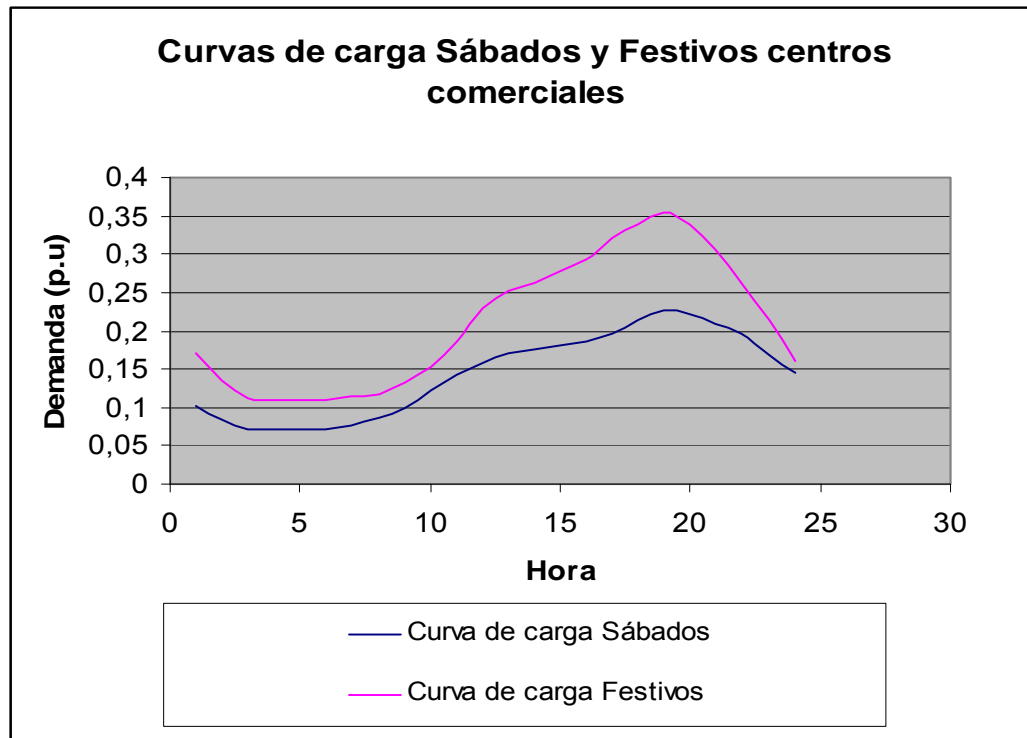


Gráfico 11. Curvas de carga sábados y festivos usuario comercial (Centros Comerciales)<sup>25</sup>

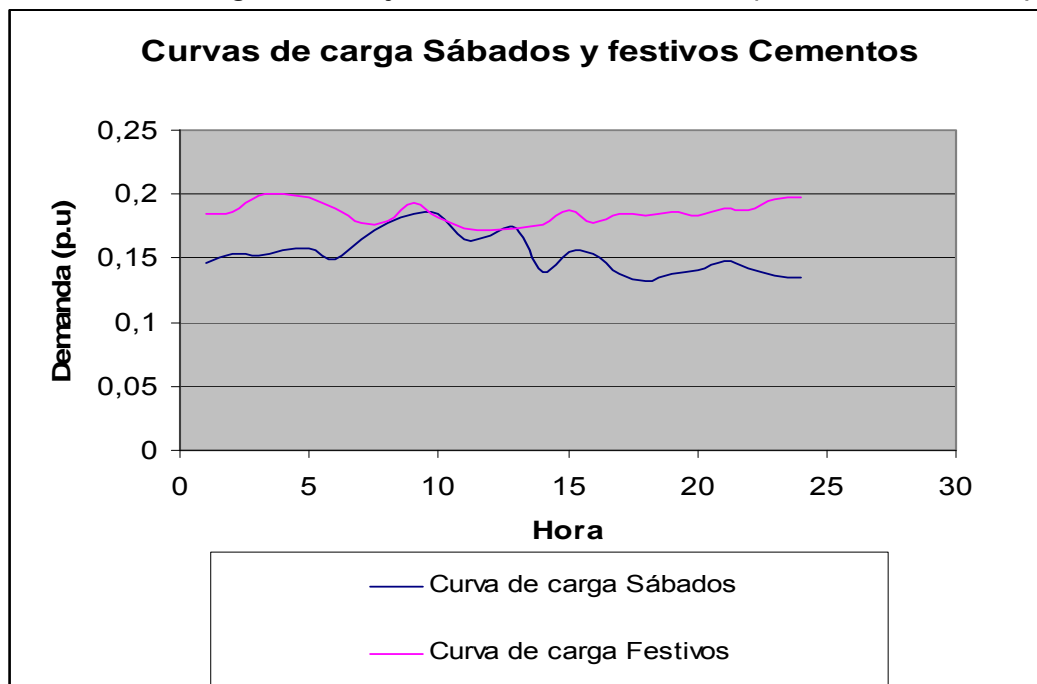


Gráfico 12. Curvas de carga sábados y festivos usuario industrial (Cementos)<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Fuente CODENSA S.A. E.S.P.

<sup>26</sup> Fuente CODENSA S.A. E.S.P.



Con respecto al valor anteriormente obtenido, el software automáticamente selecciona el transformador que determine la menor cantidad de pérdidas, dando a conocer los aspectos generales de este.

#### *6.2.3.1.4. Datos técnicos suministrados por el software*

Al obtener la capacidad del transformador que se debe instalar, el software suministra información tal como, punto óptimo de operación, eficiencia óptima del transformador y, más adelante, curva de carga del mismo.

#### *6.2.3.2. Análisis económico*

Para realizar el análisis económico del transformador a utilizar se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

##### *6.2.3.2.1. Tiempo de análisis*

El tiempo a analizar es determinado por el usuario para tener conocimiento del valor de las pérdidas en este transcurso de tiempo.

##### *6.2.3.2.2. Porcentaje de aumento de la demanda*

Este porcentaje lo determina el usuario según el comportamiento del aumento de la demanda en los últimos años.

##### *6.2.3.2.3. Precio del kWh*

Este se toma del precio actual del kWh el cual también es determinado por el usuario, bien sea tomando este precio de un recibo de energía o haciendo un análisis con la fórmula utilizada para este fin.

#### *6.2.3.1.4. Datos técnicos suministrados por el software*

Para determinar el valor en pesos al año de las pérdidas se utilizó la ecuación 10:

$$V_p = (P_T * PkWh) \quad (\text{Ec } 10)$$

Teniendo:

VP= Valor de las pérdidas en el año.

PT= Pérdidas totales en el día.

PkWh= Precio del kWh



Para considerar la variación de las pérdidas según el aumento de la demanda, al valor que el usuario digita en la demanda se le hace una corrección al año, lo cual se puede observar en la ecuación 11.

$$D_T = D_A + (1 + A_D)^T \quad (\text{Ec 11})$$

Teniendo:

$D_T$  = Demanda total.

$D_A$  = Demanda al año.

$A_D$  = Aumento de la demanda.

$T$  = Tiempo de evaluación el cual está dado en años.

Al obtener el valor de las pérdidas en el año, lo que el usuario está observando es un valor a futuro, para determinar el valor presente neto de lo obtenido en la ecuación 11 se hace uso de la ecuación 12, con un valor determinado como la tasa de interés de retorno y con el número del años que el mismo usuario determine:

$$V_{PF} = V_P * (1 + i)^T \quad (\text{Ec 12})$$

Teniendo:

$V_{PF}$  = Valor de las pérdidas con respecto al tiempo.

$i$  = Tasa de interés de retorno.

$T$  = Tiempo de evaluación el cual está dado en años.

Al valor que se obtuvo anteriormente se le suma el valor del transformador, el cual lo determina el usuario.

$$VT_{PF} = V_{PF} + VT \quad (\text{Ec 13})$$

Teniendo:

$VT_{PF}$  = Valor total del uso del transformador

$VT$  = Valor en pesos del transformador.

Es importante tener en cuenta que la demanda va aumentando con respecto pasa el tiempo, para no tener inconvenientes con esto, el mismo usuario debe determinar un porcentaje de aumento de la demanda. La ecuación 14 determina como va aumentando la demanda con respecto al tiempo:

$$DT = D_D * (1 + A_D)^T \quad (\text{Ec } 14)$$

Teniendo:

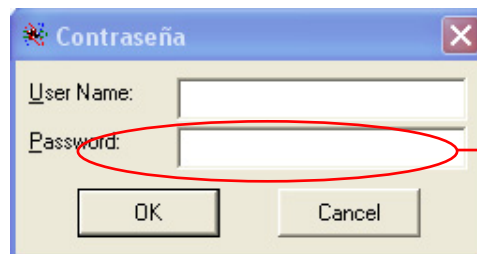
DT = Demanda total.

$D_D$  = Demanda digitada por el usuario.

$A_D$  = Aumento de la demanda.<sup>27</sup>

#### 6.2.4. Manual del usuario

Al ejecutar el software lo primero que observamos es el acceso a un cuadro de diálogo (gráfico 13), en el cual se debe ingresar el código de usuario, el cual fue determinado con anterioridad.

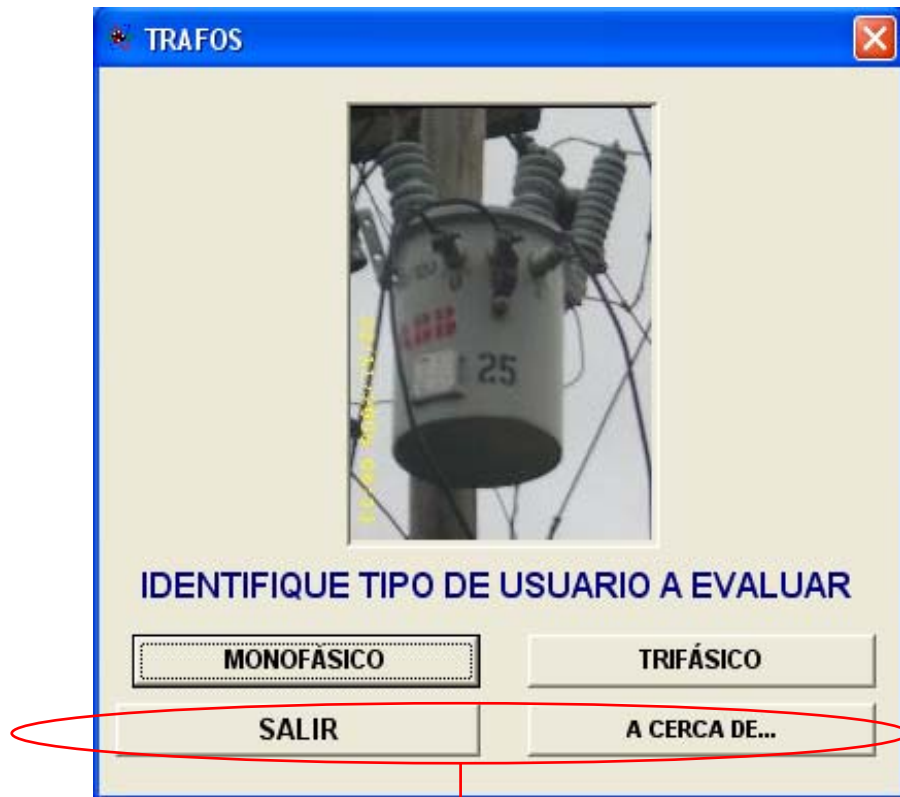


En esta casilla el usuario debe insertar el código correcto para la utilización del programa

**Gráfico 13. Ventana de inicio del software**

En la siguiente ventana (gráfico 14) el usuario puede escoger si lo que va a analizar es una red monofásica o trifásica.

<sup>27</sup> VIDAURRI, Héctor Manuel, Matemáticas Financieras, International Thompson Editores, 2001, 607 p.

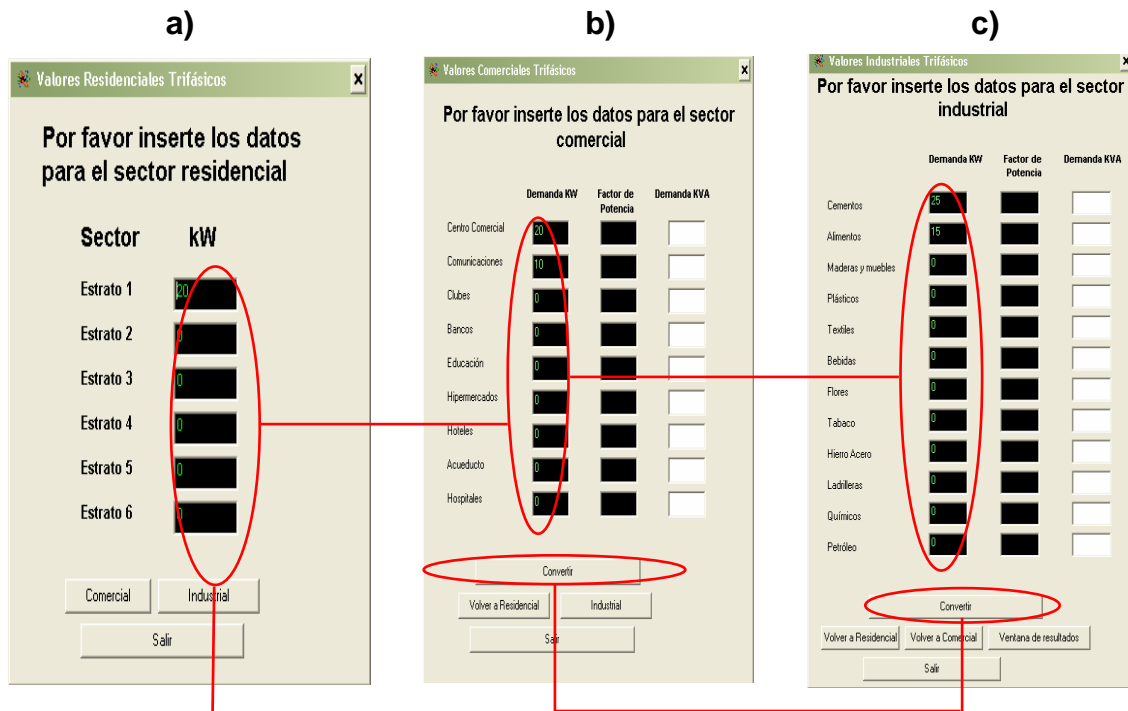


*Estos dos botones definirán el tipo de red  
que el usuario desea analizar*

**Gráfico 14. Ventana para seleccionar la red a analizar**

Al presionar en cualquiera de los dos botones el usuario se dirige a insertar los datos en el tipo de cliente que se desee analizar, bien sea, residencial (gráfico 15a), comercial (gráfico 15b) o industrial (gráfico 15c).



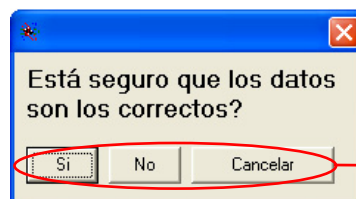


En estas casillas el usuario debe insertar los datos de las demandas requeridas para cada tipo de usuario

Al presionar este botón se puede conocer el valor en kVA de la demanda insertada en kW lógicamente habiendo insertado el valor del factor de potencia con anterioridad

**Gráfico 15. Ventanas para inserción de datos. a) Residencial. b) Comercial. c) Industrial**

Al terminar de insertar los datos el software permite realizar una comprobación de los mismos, mostrando una ventana de aprobación (gráfico 16), en la cual el usuario cuenta con la posibilidad de volver a las ventanas anteriores para revisar los datos o de continuar al análisis de resultados.



Estos botones sirven para verificación de datos, el usuario puede volver a las ventanas de usuarios para revisar la correcta inserción de datos.

**Gráfico 16. Ventana para comprobación de valores**

Luego se pasa a la ventana de resultados (gráfico 17), en la cual se deben insertar datos tales como: periodo de tiempo a analizar en años, aumento de la demanda de potencia en



porcentaje anual, el valor de \$/kVAh para determinar el valor de las pérdidas, y un porcentaje (tasa interna de retorno) que determine el valor presente neto del valor obtenido en pesos. El valor a futuro queda en la memoria del software.

Periodo de Evaluación	Aumento demanda	Precio (\$/kWh)	Tasa de retorno
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Capacidad Transformador			<input type="text" value="kVA"/>
Tipo Transformador			
Demanda óptima			<input type="text" value="kVA"/>
Porcentaje (Eficiencia)			<input type="text" value=" %"/>
VPN pérdidas (\$)			<input type="text" value=" \$"/>
Precio Transformador			<input type="text" value=" \$"/>
Analizar		Salir	

Este botón captura los datos para luego realizar un análisis.

Al presionar este botón el programa finaliza

**Gráfico 17. Ventana de resultados sin análisis**

Al dar la orden de analizar los datos se visualiza el valor en kVA de la potencia del transformador a utilizar, el total en costos de las pérdidas ocasionadas por la utilización de este transformador bien sea a presente o a futuro, su punto óptimo de operación y su eficiencia en ese punto óptimo. A la vez el usuario determina el precio del transformador y obtiene un total, pérdidas - valor transformador, este valor se obtiene a presente el cual se muestra en la ventana (gráfico 18).



**Transformadores Trifásicos**

Periodo de Evaluación	Aumento demanda	Precio (\$/kWh)	Tasa de retorno
0	0,03	200	0,05

Capacidad Transformador: 75 kVA

Tipo Transformador: TRIFASICO

Demanda óptima: 37,02 kVA

Porcentaje (Eficiencia): 49,36 %

VPN pérdidas (\$): 742921,819348272 \$

Precio Transformador: 6461403 \$

Total (VPN): 7204324,81934827

Analizar   Continuar Análisis   Salir

Opciones

Al pulsar este botón el usuario puede observar los resultados obtenidos

Este botón da la posibilidad de realizar un análisis de hacer uso de otro u otros transformadores

### Gráfico 18. Ventana de resultados con análisis

Se puede observar el botón opciones con el cual se puede analizar el hacer el cubrimiento de la demanda solicitada con transformadores de menor potencia, de manera que el propio software determine el número de transformadores a utilizar en la según la capacidad que es determinada por el usuario (gráfico 19).



**Transformadores Trifásicos**

Periodo de Evaluación	Aumento demanda	Precio (\$/kWh)	Tasa de retorno
0	0,03	200	0,05

Capacidad Transformador: 75 kVA  
Tipo Transformador: TRIFASICO  
Demanda óptima: 37,02 kVA  
Porcentaje (Eficiencia): 49,36 %  
VPN pérdidas (\$): 742921,819348272 \$  
Precio Transformador: 6461403 \$  
Total (VPN): 7204324,81934827

Nuevo análisis  
Analizar Continuar Análisis Salir

Opciones

Capacidad (KVA)	45	Analisis
Cantidad (U)	1	5599860,23888194
Valor Unidad	4794930	Gráfica Barras Gráfica Carga

En esta parte se insertan los valores de potencia de los

En esta parte se observa el número de transformadores necesarios para cubrir la demanda solicitada

Aquí se observa el valor en pesos de cada transformador

Este botón muestra el resultado en pesos de la opción seleccionada

**Gráfico 19. Ventana de resultados aplicando las opciones**

Al seleccionar la opción graficar, el software muestra dos botones para determinar que tipo de gráfica es la que deseamos, bien sea la gráfica de carga del transformador o la gráfica económica de la comparación.

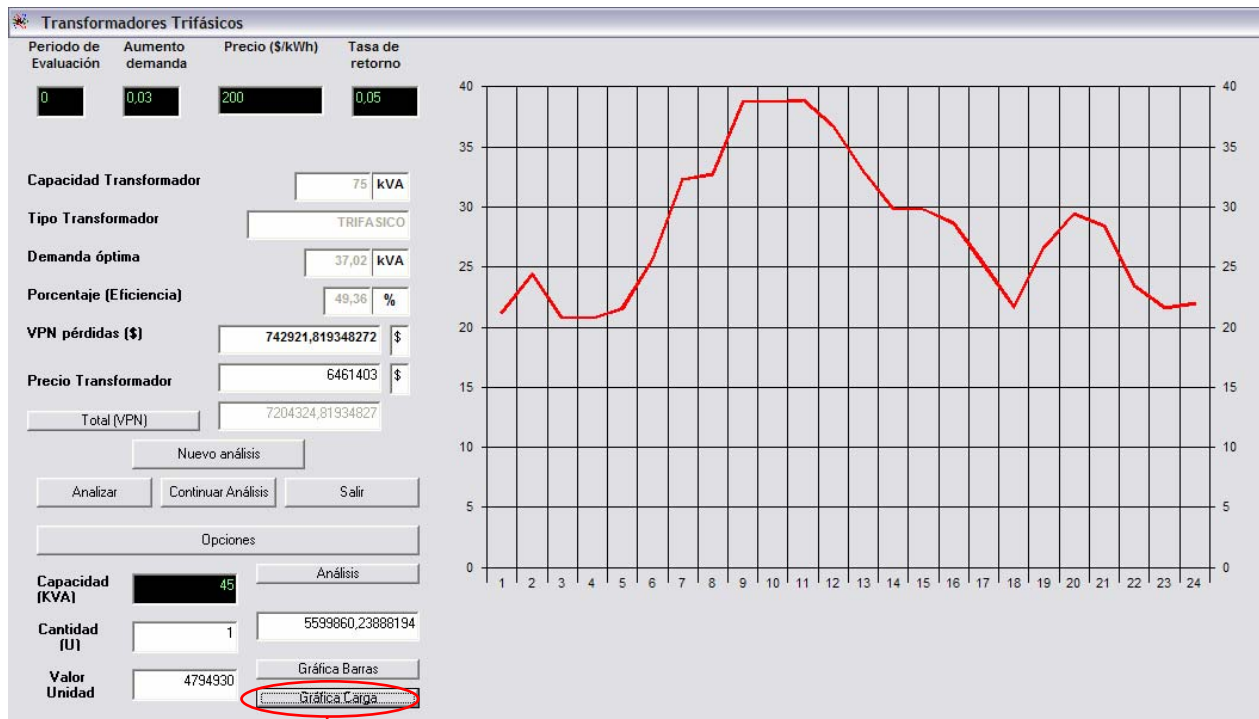
Al presionar en el botón de gráfica de carga se observa un diagrama, el cual muestra la curva de carga característica en un día, la cual está basada con respecto a la demanda digitada anteriormente y después de haber realizado el análisis previo (gráfico 20).



Al presionar este botón se observa la curva económica de realizar la comparación del transformador seleccionado por el software y la opción determinada por el usuario

**Gráfico 20. Ventana de resultados con gráfico de barras anexo**

Al presionar en el botón de gráfica de barras se ve un diagrama, el cual compara económicamente el uso del transformador seleccionado por medio del software con la opción determinada por el usuario en el menú opciones (gráfico 21).



Al presionar este botón se observa la curva de carga del transformador

**Gráfico 21. Ventana de resultados con curva de carga anexa**

El análisis se puede realizar para los tipos de clientes consignados en las tablas anteriormente mencionadas.

La curva de carga determina las demandas requeridas por el cliente durante las 24 horas del día valores que están consignados sobre el eje X y los valores de las demandas están sobre el eje Y.

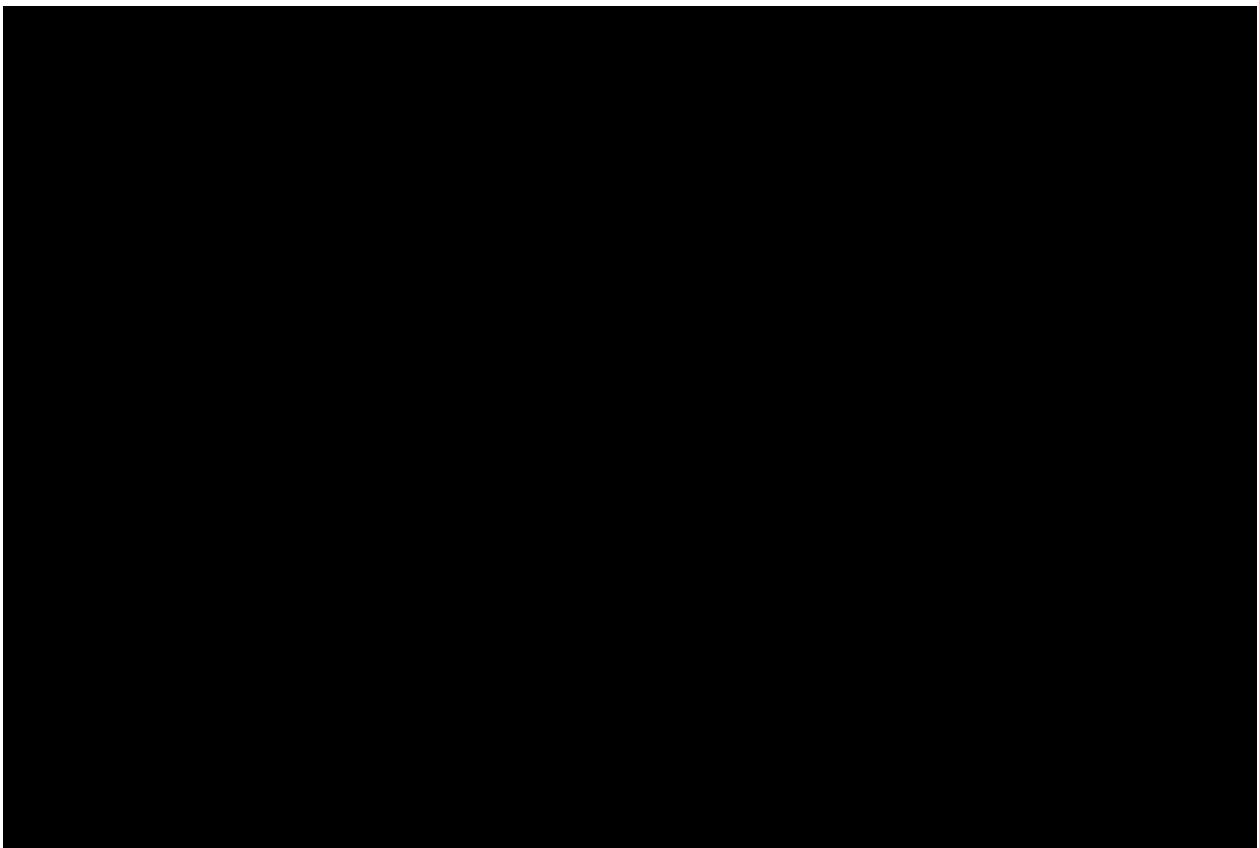
### 6.2.5. Validación de software

Al hacer el análisis de la selección del transformador por medio del software el resultado que se observa inicialmente es el transformador que ofrece las mejores características en cuanto a pérdidas se refiere, es decir, el transformador que está más cercano a trabajar en su punto óptimo de operación, con respecto a los datos insertados y a los factores de carga y demanda que fueron suministrados por la empresa de energía CODENSA S.A. E.SP, en este caso no se está indicando que este debe ser el transformador a utilizar.



Ya que al ver este resultado se tiene la posibilidad de observar la curva de carga que determina el comportamiento de los usuarios a alimentar por el transformador, el usuario del software puede determinar la cantidad de transformadores que puede utilizar para cubrir la demanda, ya que en la curva se puede observar el punto de demanda máximo que llegan a alcanzar los clientes en una hora determinada.

A continuación se darán algunos resultados de pruebas realizadas por medio del software diseñado:



**Tabla 13. Tabla de resultados obtenidos por medio del software**

De acuerdo a la tabla 13 se tiene:

Para el caso 1:

La demanda total pedida por los usuarios es de 195kW, pero al realizar las operaciones con los factores de demanda y los factores de carga la demanda



máxima que se alcanza es de 162,43kVA, el transformador de 300kVA es seleccionado debido a que la demanda máxima está cercana al punto óptimo de operación de este pero al utilizar los cuatro transformadores de 45kVA si la demanda es repartida equitativamente cada uno puede llegar a obtener una eficiencia aproximada de 90% por cada transformador.

En el caso 2:

La demanda que se pide por los clientes es de 90kVA, pero la demanda máxima alcanzada es de 70,90kVA, el transformador de 300kVA es seleccionado debido a que la demanda máxima está cercana al punto óptimo de operación de este pero al utilizar un transformador de 75kVA este puede llegar a una eficiencia aproximada del 95%.

En el caso 3:

La demanda que se pide por los clientes es de 240kVA, pero la demanda máxima alcanzada es de 217,87kVA, el transformador de 400kVA es seleccionado debido a que la demanda máxima está cercana al punto óptimo de operación de este pero al utilizar dos transformadores de 112,5kVA estos pueden llegar a una eficiencia aproximada del 96% cada uno.

En el caso 4:

La demanda que se pide por los clientes es de 135kVA, pero la demanda máxima alcanzada es de 99,71kVA, el transformador de 225kVA es seleccionado debido a que la demanda máxima está cercana al punto óptimo de operación de este pero al utilizar un transformador de 112,5kVA este puede llegar a una eficiencia aproximada del 88%.

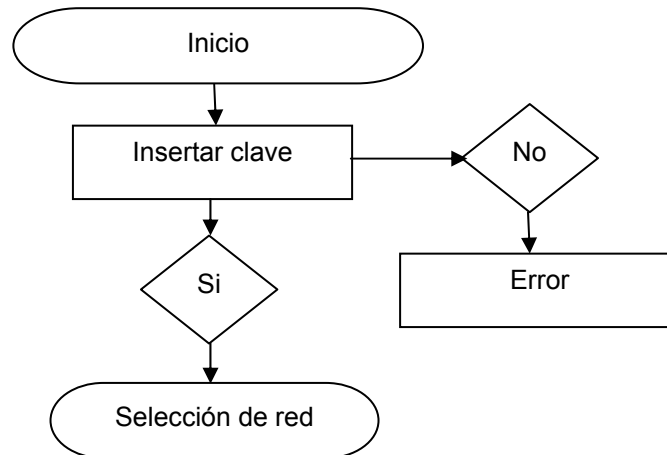
#### 6.2.6. Diagramas de flujo y pruebas de escritorio de software de aplicación

Para la realización del software de aplicación se tuvieron en cuenta los siguientes diagramas:





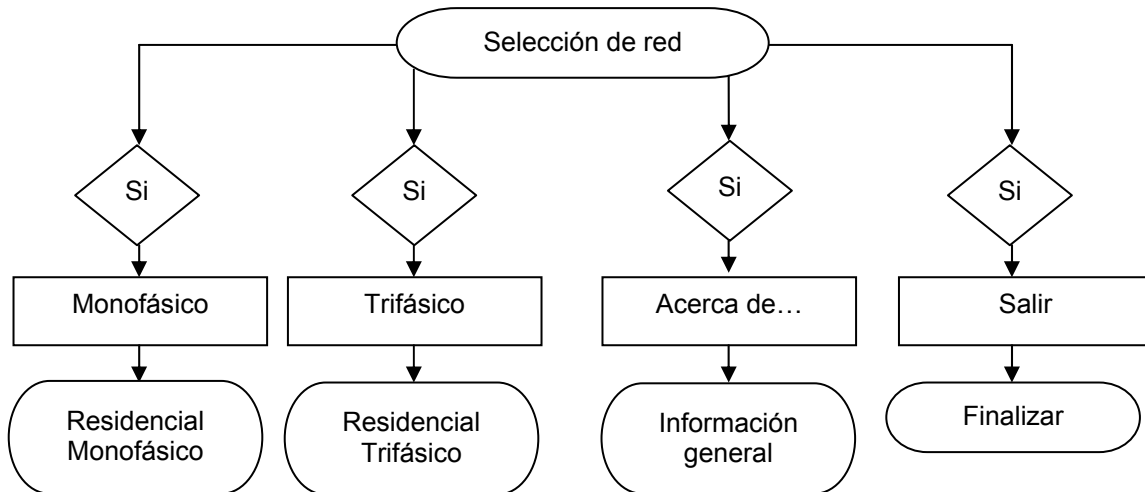
### Diagrama de flujo entrada software



### Prueba de escritorio

Introducir clave	Selección red	Error
AAAA	XXXX	X
SSSS	XXXX	X
TTTT	XXXX	X
XXXX	XXXX	O

### Diagrama de flujo selección de red



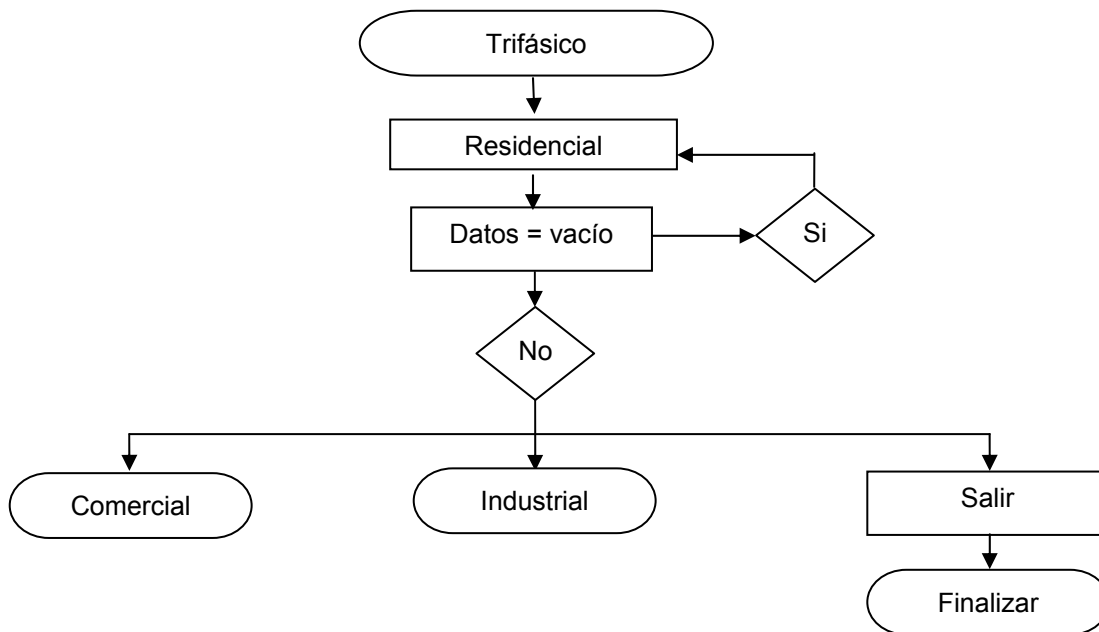


Prueba de escritorio

Selección de red	Monofásico	Trifásico	Acerca de...	Salida
Salida	X	X	X	O
Monofásico	O	X	X	X
Trifásico	X	O	X	X
Acerca de...	X	X	O	X

Teniendo en cuenta que al hacer la selección de red, bien sea, trifásica o monofásica, el software muestra ventanas similares, por lo cual, se presenta a continuación los diagramas de flujo en el caso de hacer una selección de red trifásica.

Diagrama de flujo inserción de datos residencial

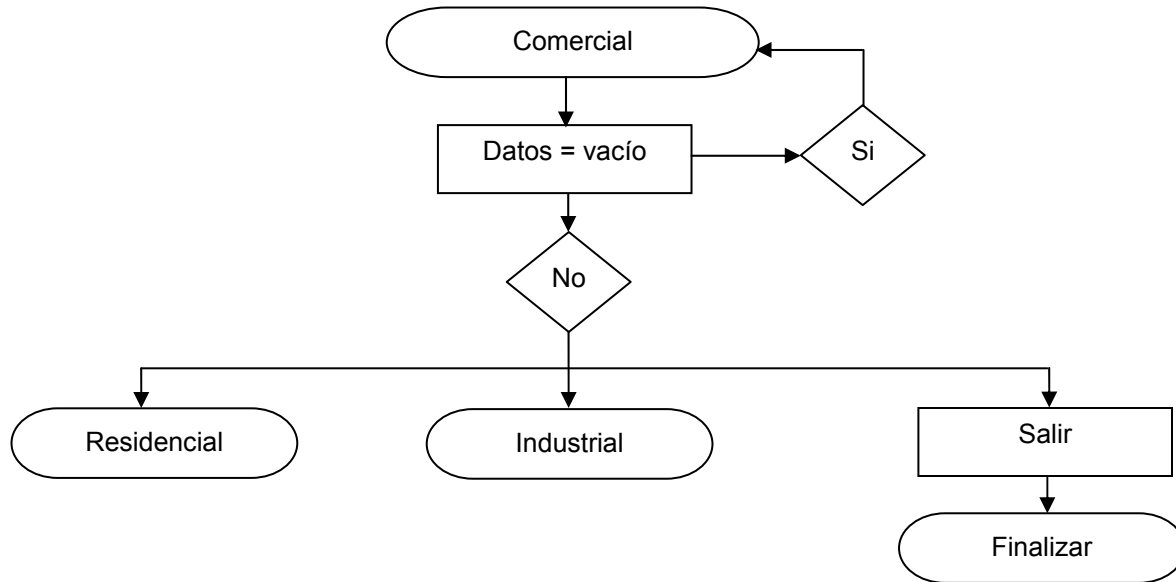


Prueba de escritorio

Almacenamiento de datos	Seleccionar	Comercial	Industrial	Salida	Error
Vacío	X	X	X	X	O
>=0	I	X	O	X	X
>=0	C	O	X	X	X
>=0	S	X	X	O	X
Vacío	S	X	X	X	O



### Diagrama de flujo inserción de datos comercial

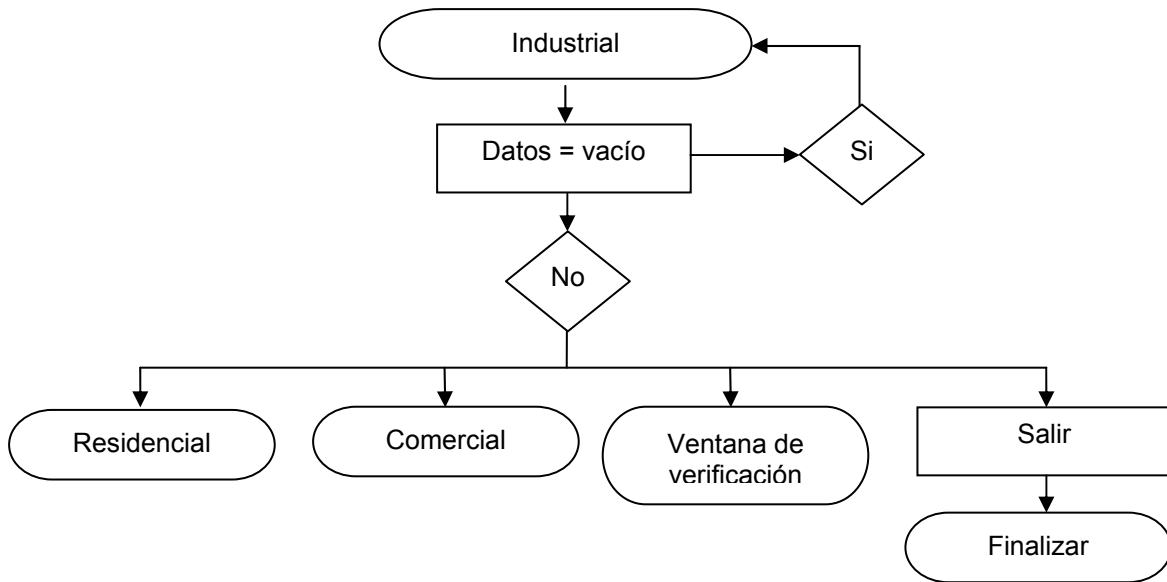


### Prueba de escritorio

Almacenamiento de datos	Seleccionar	Comercial	Industrial	Salida	Error
Vacío	X	X	X	X	O
>=0	I	X	O	X	X
>=0	C	O	X	X	X
>=0	S	X	X	O	X
Vacío	S	X	X	X	O



### Diagrama de flujo inserción de datos industrial

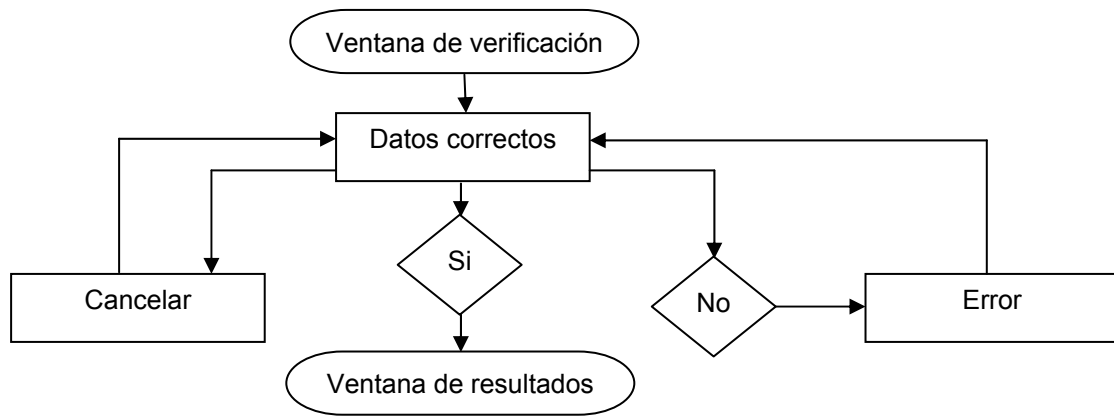


### Prueba de escritorio

Almacenamiento de datos	Seleccionar	Comercial	Industrial	Salida	Error	Ventana de resultados
Vacío	X	X	X	X	O	X
>=0	I	X	O	X	X	X
>=0	C	O	X	X	X	X
>=0	S	X	X	O	X	X
>=0	VR	X	X	X	X	O
Vacío	S	X	X	X	O	X



### Diagrama de flujo verificación de datos

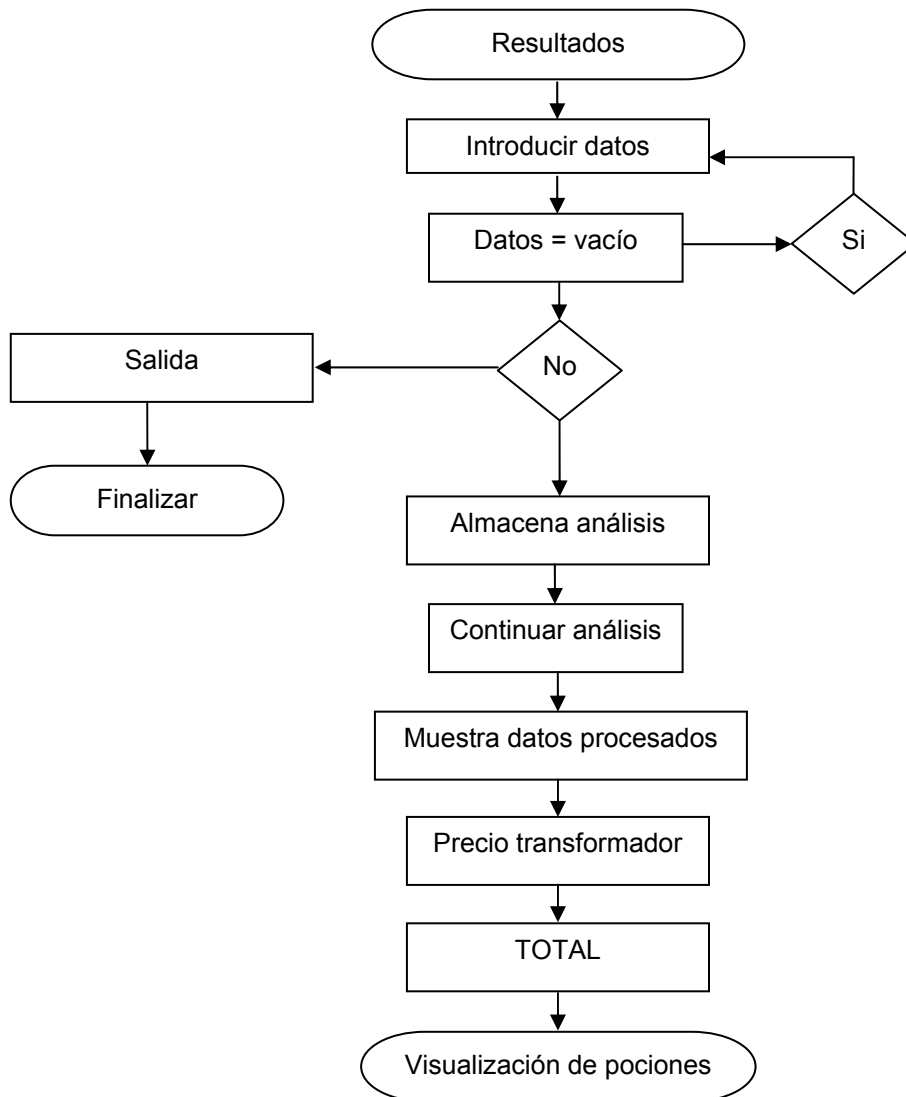


### Prueba de escritorio

Pregunta	Industrial	Ventana de resultados
Correcto	X	O
Incorrecto	O	X
Cancelar	O	X



## Diagrama de ventana de resultados



Para el caso se utilizarán dos pruebas de escritorio para mayor claridad

Prueba de escritorio 1:

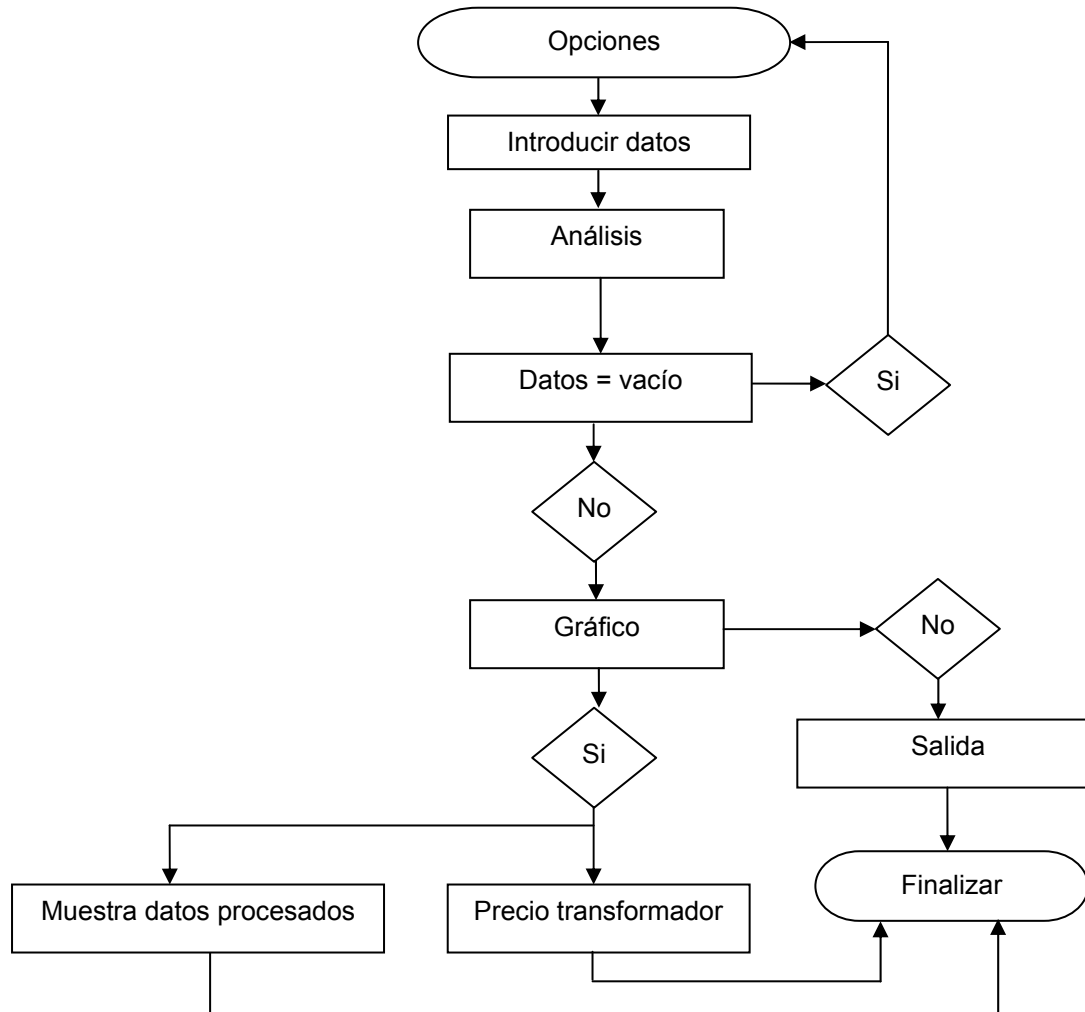
Datos	Seleccionar	Análisis	Salida	Error
Vacío	Analizar	X	X	O
$\geq 0$	Analizar	O	X	X
$\geq 0$	Salida	X	O	X



Prueba de escritorio 2:

Valor transformador	Seleccionar	Opciones	Salida	Error
Vacío	Total	X	X	O
$\geq 0$	Total	O	X	X
$\geq 0$	Salida	X	O	X

Diagrama de flujo opciones





## Prueba de escritorio

Datos	Seleccionar	Análisis	Salida	Error
Vacío	Analizar	X	X	O
$\geq 0$	Analizar	O	X	X
$\geq 0$	Salida	X	O	X

### 6.2.7. Metodología de solución

Las fórmulas generales utilizadas para la solución del problema planteado fueron:

$$D_{Tn} = \sum D_s * D_n * FD$$

Teniendo:

$D_{Tn}$ = Demanda total en la hora determinada.

$D_s$ = Demanda solicitada por el cliente en kW, la cual es digitada por el usuario del software.

$D_n$ = Demanda consumida por el cliente en la hora determinada, la cual está dada en por unidad (Valor obtenido de cada gráfica según el tipo de usuario).

$FD$ = Factor de demanda, este factor se tomó como el 95% de cada factor de carga, según el usuario a analizar.

Los factores de carga y de demanda suministrados por la empresa de CODENSA S.A. E.S.P. con respecto a mediciones realizadas a los diferentes tipos de usuarios, este estudio fue realizado entre los años 1999 y 2001, con la fórmula anterior determinamos las demandas para una hora determinada.

Según las demandas halladas anteriormente se determinaron las pérdidas por transformador, con ayuda de las tablas 11 y 12, para transformadores monofásicos y trifásicos respectivamente.

La fórmula utilizada fue:

$$P_T = \left( \sum_{n=1}^{24} P_{Fe} + \left( \frac{Dn}{P_N} \right)^2 \times P_{Cu} \right)$$





Teniendo:

$P_T$  = Pérdidas en totales.

$P_{Fe}$  = Pérdidas en el hierro normalizadas.

$P_{Cu}$  = Pérdidas en el cobre normalizadas.

$P_N$  = Potencia nominal del transformador.

Se realizó la sumatoria variando  $n$  de 1 a 24 para determinar las pérdidas en el día de cada uno de los sectores.

El valor obtenido anteriormente se multiplica por el valor en pesos del kWh para obtener el valor en pesos de las pérdidas halladas. Si el periodo de evaluación es diferente de cero el valor que se obtiene es un valor a futuro, para expresar este valor en términos de valor presente neto se utilizó la siguiente fórmula.

$$V_{PF} = V_P * (1 + i)^T$$

Para que el software seleccione el transformador óptimo desde el punto de vista de pérdidas, dependiendo de los resultados de la ecuación anterior, se analizó el transformador que ofreciera las menores pérdidas, obteniendo transformadores que trabajan aproximadamente al 50% de su plena carga, es decir, cuando las pérdidas en el cobre y las pérdidas en el hierro con respecto a la demanda son iguales y su suma algebraica es mínima.

Al obtener estos resultados el usuario puede observar el valor en pesos de las pérdidas, el precio del transformador, y el total de la suma de estos dos.

Para determinar si se puede cubrir la demanda exigida por los usuarios con transformadores de menor potencia, se establecieron transformadores desde 5kVA hasta 50kVA para transformadores monofásicos y desde 15kVA hasta 112,5kVA en transformadores trifásicos (si es necesario ampliar este rango el usuario lo puede elaborar con facilidad).

$$P_{TO} = \left( \left( \sum_{n=1}^{24} a + \left( \frac{D_n}{P_T * c} \right)^2 \times b \right) \right) * c$$

Teniendo:

$P_{TO}$  = Pérdidas totales para las opciones.

$D_n$  = Demanda en una hora determinada.

$P_T$  = Potencia del transformador.



c= Número de transformadores a utilizar.  
a= Pérdidas en el hierro del transformador a utilizar.  
b= Pérdidas en el cobre del transformador a utilizar

Con la ayuda de la ecuación anterior se determinan las pérdidas diarias al hacer uso de las opciones.

Para determinar las pérdidas totales se multiplicó el resultado de la ecuación anterior por 365.

El rango del número de transformadores a utilizar se varió desde 1 transformador hasta 12 transformadores, igual que en el caso anterior, el software realiza una interpolación y determina el número de transformadores que ofrezca las menores pérdidas y que logre cubrir la demanda, mostrando la suma algebraica del valor en pesos de las pérdidas correspondientes al número de transformadores seleccionado y el precio de estos, es decir, el software proporciona un resultado desde el punto de vista técnico y económico, a diferencia del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) que analiza únicamente el aspecto técnico.



## CONCLUSIONES

- Es importante tener en cuenta que pasos de los transformadores de distribución están muy alejados el uno del otro.

Software	NTC 2050
<b>Debilidades:</b> No pueden ser eliminados datos de registros anteriores. En el caso de ser analizado al transformador para usuario residencial hay posibilidades de sobredimensión.	<b>Debilidades:</b> Hay que llevar un registro aparte de los datos requeridos. Puede haber errores en el cálculo. Considera el consumo como una curva de carga plana. No diferencia por tipo de cliente el la parte residencial. Sólo análisis técnico.
<b>Oportunidades:</b> Ahorro de tiempo para el cálculo. Pueden ser revisados los datos de análisis anteriores.	<b>Oportunidades:</b> Facilidades de acceso.
<b>Fortalezas:</b> Es actualizable Es robusto. Es dinámico. Maneja bases de datos. Es confiable. Es liviano. Exige un mínimo de requerimiento en el equipo. Protección por contraseña. Utiliza curvas de carga. Realiza un análisis técnico y económico.	<b>Fortalezas:</b> Es actualizable Es económico. Incluye la mayoría de los usuarios.
<b>Amenazas:</b> Piratería. Virus. Puede llegar a ser hackeado.	<b>Amenazas:</b> Piratería. Divulgación vía Internet.



- Sería de gran utilidad diseñar transformadores de distribución trifásicos con otras capacidades intermedias a las capacidades encontradas actualmente.

Potencias propuestas para transformadores trifásicos (kVA)
60
100
180
350
450
550

- El uso de los lenguajes de programación es muy útil para el modelamiento de escenarios reales en este caso en el área de la Ingeniería Eléctrica.
- El estudio de los transformadores de distribución es un campo que puede llegar a generar muchas investigaciones, que redunden en un mejor aprovechamiento de los recursos no renovables del sistema actual.
- El método de selección actual de los transformadores de distribución busca cubrir la demanda requerida por el usuario, sin embargo este método alternativo, además de cubrir la demanda optimiza las características de los recursos manejados.
- Para la selección de los transformadores de distribución, ofrece más precisión utilizar además de factores de demanda, las curvas de carga.
- Es de gran importancia realizar un análisis continuo de todos los equipos que componen los sistemas, bien sean, de generación, transmisión y distribución, para llegar a optimizar la calidad del servicio y así mismo hacer buen uso de los recursos utilizados para estos procesos.



---

## GLOSARIO

Algunos términos utilizados dentro de esta investigación y que deben ser aclarados previamente son:

**BASE DE DATOS:** Es una colección de datos organizados y relacionados de acuerdo con un propósito específico. Están estructuradas por archivos de tablas, consultas, informes y formularios, entre otros.<sup>28</sup>

**CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO:** Parámetros establecidos por la CREG para la calidad del producto, calidad del servicio técnico y comercial, con el fin de evaluar la prestación del suministro de energía.

**EFICIENCIA:** Es la potencia de salida dividida por la potencia de entrada. El fenómeno de factor de potencia da una necesaria explicación cuando se aplica ésta definición a transformadores.

**PÉRDIDAS EN EL COBRE:** Son debidas a la resistencia óhmica presentada por los bobinados, pérdidas estas que se incrementan cuanto mayor es el cuadrado de la corriente que los atraviesa.

**PÉRDIDAS EN EL HIERRO:** Pueden subdividirse en dos partes: las pérdidas por histéresis magnética y las pérdidas por corrientes de Foucault o corrientes parasitarias. En el primer caso son debidas a que el núcleo del transformador se encuentra ubicado dentro del campo magnético generado por el mismo y, en consecuencia, se imanta. Pero, ocurre que la corriente aplicada al transformador es alternada y, por tanto, invierte constantemente su polaridad, variando con la misma frecuencia el sentido del campo magnético. Luego, las moléculas del material que forma el núcleo deben invertir en igual forma su sentido de orientación, lo cual requiere energía, que es tomada de la fuente que suministra la alimentación. Esto representa, por tanto, una pérdida.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> HANSEN, Gary W. HANSEN, James V. Diseño y Administración de Bases de Datos, Prentice Hall 2 ed 1998.

<sup>29</sup> FLANAGAN, William M. Handbook of Transformer & Applications, 2 ed. Mc Graw Hill, 1993, 450p.



---

**SOFTWARE:** Todos los componentes intangibles de una computadora, es decir, al conjunto de programas y procedimientos necesarios para hacer posible la realización de una tarea específica. Esto incluye aplicaciones informáticas tales como un procesador de textos, que permite al usuario realizar una tarea, y software de sistema como un sistema operativo, que permite al resto de programas funcionar adecuadamente, facilitando la interacción con los componentes físicos y el resto de aplicaciones.<sup>30</sup>

**UML:** Lenguaje Unificado de Modelado. Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema con gran cantidad de software. Proporciona una forma estándar de escribir los planos de un sistema, cubriendo tanto las cosas conceptuales, tales como procesos del negocio y funciones del sistema, como las cosas concretas, tales como las clases escritas en un lenguaje de programación específico, esquemas de bases de datos y componentes software reutilizables.<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> HANSEN, Gary W. HANSEN, James V. Diseño y Administración de Bases de Datos, Prentice Hall 2 ed 1998.

<sup>31</sup> BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James, JACOBSON, Ivar. El Lenguaje Unificado de Modelado, Addison Wesley. 1 ed 1999



---

## BIBLIOGRAFIA

FLANAGAN, William M. Handbook of Transformer & Applications, 2 ed. Mc Graw Hill, 1993, 450p.

CATHEY, Jimmie J. Máquinas Eléctricas, Análisis y Diseño Aplicando Matlab. Mc Graw Hill, 1 ed, Mexico D.F. 2001, 215 p.

HANSEN, Gary W. HANSEN, James V. Diseño y Administración de Bases de Datos, Prentice Hall 2 ed 1998.

BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James, JACOBSON, Ivar. El Lenguaje Unificado de Modelado, Addison Wesley. 1 ed 1999.

CHAPMAN, Estephan Maquinas Eléctricas, Mexico, ed. Mc Graw Hill, 1999.

DONALD, Fink. WAYNE, Beaty. Manual de Ingeniería Eléctrica, México, ed. McGraw Hill, 1996.

TIRAVANTI, Eduardo. Máquinas Eléctricas, 30 de Mayo de 2005. <http://www.stilar.net>

Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Código eléctrico colombiano, Norma 2050, 2000.

Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Electrotecnia. Transformadores Monofásicos Autorefrigerados y Sumergidos en Líquido. Corriente Sin Carga, Pérdidas y Tensión de Corto Circuito, NTC 818, 1995.

Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Electrotecnia. Transformadores Trifásicos Autorefrigerados y Sumergidos en Líquido. Corriente Sin Carga, Pérdidas y Tensión de Corto Circuito, NTC 819, 1995.

CÁRDENAS ALVAREZ, Wilson. AMEZQUITA PEPINOZA, Jorge Andrés. Estudio de Viabilidad para la Modificación de Redes Aéreas de baja Tensión a Nivel Residencial, del Sistema de Distribución de la Empresa de Energía de Bogotá. Santa Fé de Bogotá,



---

1998, 130 p. trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Eléctrica.

GUALDRÓN VILLARRAGA, Mónica Johana, Evaluación técnico-económica de una red de distribución óptima, para satisfacer el crecimiento de la demanda de Energía. Santa Fé de Bogotá, 1998, 170 p. trabajo de grado (Ingeniería Eléctrica). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Eléctrica.

CERVERA Ricardo, <http://es.tldp.org/Tutoriales/doc-modelado-sistemas-UML/multiple-htmlc12.html>, 23 may 2006, 12:47 p.m.

VIDAURRI, Héctor Manuel, Matemáticas Financieras, International Thompson Editores, 2001, 607 p.

GARAY, Harlyn, Ingeniería de software y sistemas expertos, 2005, 324 p, Fundación Universitaria San Martín.