



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA DETERMINACIÓN  
DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS EN POTENCIA Y ENERGÍA EN ALIMENTADORES  
PRIMARIOS**

**AUTORA:  
MAYRA DEL ROCÍO GUASHCO RUBIO**

**DIRECTORA:  
ING. IBETH DELGADO.**

**Latacunga, Octubre de 2015**



# INTRODUCCIÓN

- Las empresas distribuidoras de energía eléctrica realizan el cálculo de pérdidas de energía eléctrica en alimentadores primarios por diversas razones:
  - Generar planes y programas para la reducción de pérdidas técnicas que permite disminuir tanto la energía que se requiere generar como reducir el pico de demanda máxima.
- Este es un proceso lento ya que se manejan grandes volúmenes de información; motivo por el que cada empresa distribuidora se ha visto en la obligación de generar sus propios algoritmos computacionales para optimizar recursos.



# INTRODUCCIÓN

- Lo recomendable es contar con una aplicación informática con una sola metodología que permita ventajas como disminuir el tiempo empleado en el cálculo y que se puedan realizar comparaciones de los resultados entre empresas gracias a la unificación.



# ANTECEDENTES

- Las pérdidas en potencia y energía están presentes en todos los alimentadores primarios de las empresas distribuidoras. Cada empresa aplica una metodología diferente para el cálculo de pérdidas, sin embargo éste proceso es repetido y común para todas las empresas.
- Las investigaciones para tesis “Propuesta de Estandarización en el cálculo de pérdidas técnicas en potencia y energía en las empresas eléctricas de distribución del país” de Carlos Castellanos y “Aplicación de Metodología Uniforme de Cálculo de Pérdidas Técnicas en Empresas de Distribución” de Diego Álvarez, describen la importancia de la estandarización y unificación de los cálculos de pérdidas técnicas alimentadores primarios.



# OBJETIVOS

Desarrollar una aplicación informática para determinar pérdidas técnicas en potencia y energía en alimentadores primarios.

## ESPECÍFICOS

- Establecer una metodología para el cálculo de pérdidas técnicas en los conductores de alimentadores primarios y transformadores de distribución.
- Diseñar e implementar el software.
- Determinar pérdidas tanto en potencia como de energía en los conductores de los alimentadores.
- Determinar pérdidas tanto en potencia como de energía en los transformadores de distribución.
- Validar el programa mediante la comparación de los resultados obtenidos con los de un software comercial.



# METODOLOGÍA

Para el cálculo de pérdidas en el alimentador primario y en el cobre de los transformadores de distribución se realizó el mismo procedimiento, puesto que los dos varían de acuerdo a la demanda de carga. Las pérdidas en potencia se hallan al ir prorrateando en el tiempo la siguiente ecuación:

$$D_{pér\ i} = \left( \frac{D_{p\ i} f_{p\ p\ mx}}{D_{p\ mx} f_{p\ p\ i}} \right)^2 \cdot D_{pér\ mx}$$

Dónde:

$D_{pér\ i}$  = Pérdidas de potencia resistiva de potencia en el instante  $i$  [kW]

$D_{p\ i}$  = Demanda en el instante  $i$  [kW]

$D_{p\ mx}$  = Demanda máxima [kW]

$f_{p\ p\ mx}$  = Factor de potencia en demanda máxima

$f_{p\ p\ i}$  = Factor de potencia en el intervalo  $i$ .

$D_{pér\ mx}$  = Pérdidas resistivas de potencia a demanda máxima [kW]



# METODOLOGÍA

Mientras que las pérdidas de energía se obtienen al sumar las demandas de pérdidas individuales y multiplicar por el intervalo de tiempo.

$$E_{pér} = \sum_{i=1}^n D_{pér i} \Delta t$$

Dónde:

$E_{pér}$  = Energía de pérdidas [kWh]

$D_{pér i}$  = Pérdidas resistivas en el instante  $i$  [kW]

$\Delta t$  = Intervalo de demanda [horas]



# METODOLOGÍA

Además a nivel de alimentadores primarios se calcularon dos parámetros eléctricos.

- **Factor de Pérdidas:** Es el porcentaje de tiempo que requiere el valor pico de una carga para producir las mismas pérdidas que las producidas por la carga real en un periodo dado.

$$\text{Factor pér} = \frac{\text{Pérdidas resistivas de potencia promedio}}{\text{Pérdidas resistivas a demanda máxima}}$$

- **Factor de Carga:** Representa las variaciones de la curva de carga, si es un factor alto, la curva de carga tiene pocas variaciones mientras que si el factor es bajo la curva tiene variaciones bruscas.

$$\text{Factor carga} = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}}$$



# METODOLOGÍA

Para determinar las pérdidas producidas en el hierro del transformador se utilizó los catálogos de los fabricantes de transformadores en donde se encuentran detalladas las pérdidas nominales en vacío, también se usó los protocolos de pruebas de laboratorio de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A y a la vez estos datos serán validados según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2114:2004 para transformadores monofásicos y 2115:2004 para transformadores trifásicos.

- Para transformadores monofásicos de 3 a 167kVA.

$$P_o = 9,8033(P_n)^{0,7141}$$

- Para transformadores monofásicos de 15 a 333kVA.

$$P_o = 33,2967 (P_n)^{0,532}$$

- Para transformadores trifásicos de 15 a 150kVA.

$$P_o = 10,514 (P_n)^{0,7486}$$

- Para transformadores trifásicos de 150 a 800kVA.

$$P_o = 13,27(P_n)^{0,7093}$$

- Para transformadores trifásicos de 800 a 2 000kVA.

$$P_o = 1,227 x P_n + 554,59$$

Para las ecuaciones:

$P_n$  = Potencia Nominal [kV]

$P_o$  = Potencia de vacío [kV]



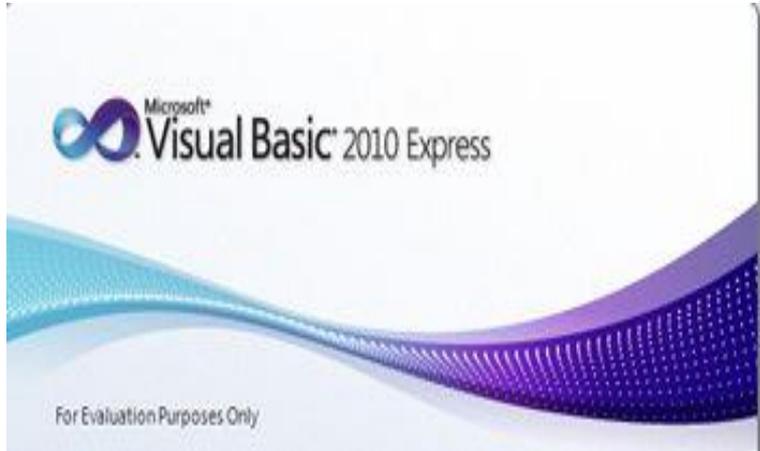
**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

# METODOLOGÍA

La elaboración de la aplicación se realizó considerando las fases de los ciclos de vida de los sistemas informáticos.



# HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE ESCRITORIO



- Visual Basic Express es una versión de Visual Basic que es fácil de aprender y está disponible como descarga gratuita en el sitio web de **MSDN** (del inglés: Microsoft Developer Network).
- Es una herramienta de desarrollo totalmente funcional para programadores que no necesitan la versión completa de Visual Basic, que se puede utilizar para desarrollar aplicaciones de escritorio.



# ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Antes de iniciar la aplicación son necesarios algunos requisitos de hardware y software tales como:

- Procesador: Pentium III o compatible, 500 MHz.
- Sistema Operativo: Windows XP o superior
- Memoria RAM: mínimo 256 MB

Así mismo es importante que el usuario cuente con la siguiente información previa:

- Registros de los analizadores de la subestación.
- Conocer el valor de las Potencia de Pérdidas Máximas en los transformadores de distribución.
- Conocer el valor de la Potencia de Pérdidas Máximas del alimentador primario.



# DISEÑO

En esta etapa se describen las tablas creadas en Access 2013 para que la aplicación pueda ejecutarse.

- **Tabla base de datos Access para pérdidas de vacío**

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO DE CAMPO	REQUERIDO
TIPO	Texto corto	15	SI
MARCA	Texto corto	15	SI
CAPACIDAD	Numérico	Decimal	SI
PO (PÉRDIDAS VACÍO)	Numérico	Decimal	SI



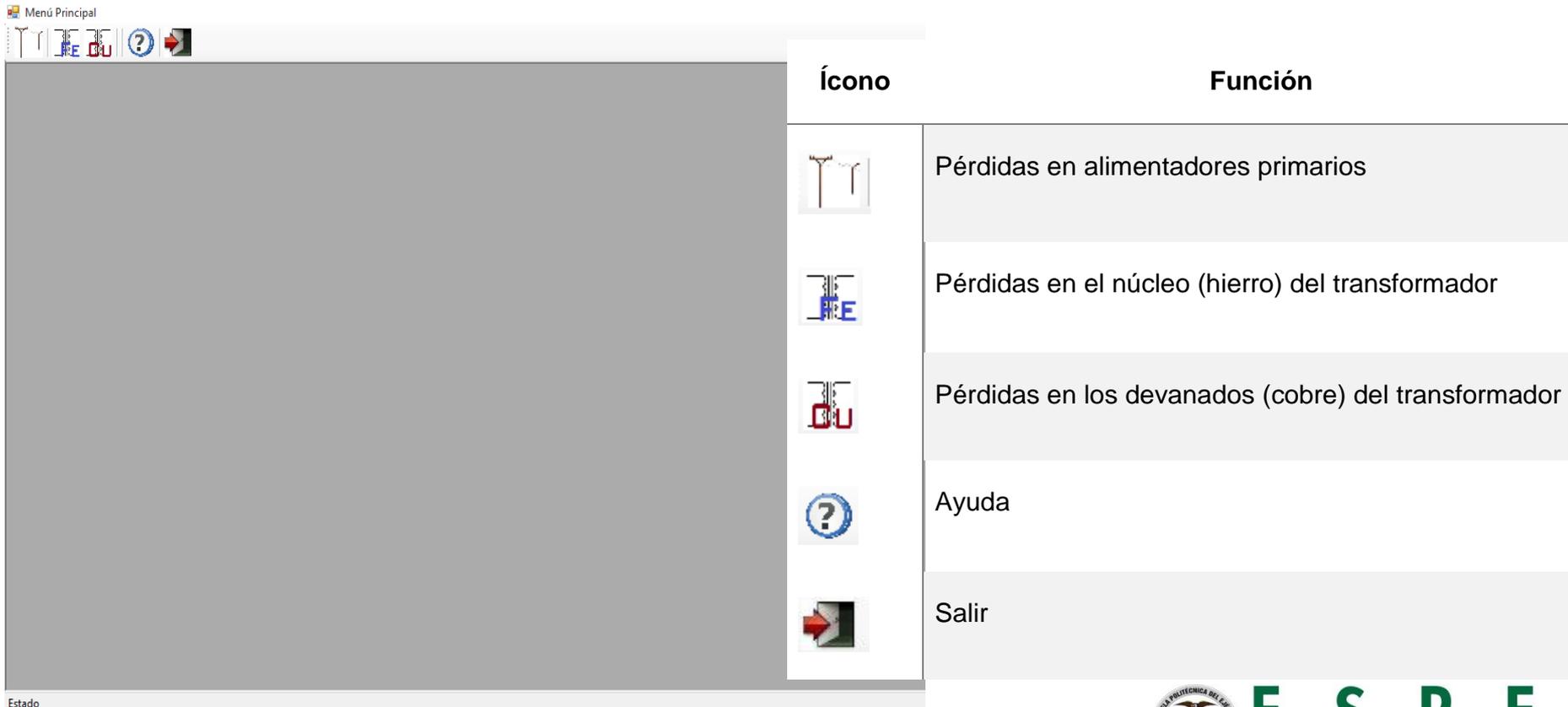
# DISEÑO

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO DE CAMPO	REQUERIDO
DATA/TIME	Fecha/Hora	Fecha General	SI
VLN A	Numérico	Double	NO
VLN B	Numérico	Double	NO
VLN C	Numérico	Double	NO
I A	Numérico	Double	NO
I B	Numérico	Double	NO
I C	Numérico	Double	NO
PF SIGN A	Numérico	Double	NO
PF SIGN B	Numérico	Double	NO
PF SIGN C	Numérico	Double	NO
KW TOT	Numérico	Double	SI
KVAR TOT	Numérico	Double	SI
KWH DEL INT	Numérico	Double	SI
KVARH DEL INT	Numérico	Double	NO
KWH REC INT	Numérico	Double	NO
KVAR REC INT	Numérico	Double	NO
FREQ	Numérico	Double	NO



# IMPLEMENTACIÓN

La aplicación permite calcular pérdidas técnicas en potencia y energía de las líneas de media tensión de los alimentadores primarios y en los transformadores. La pantalla principal cuenta con las opciones para calcular las pérdidas en los diferentes elementos.



Ícono	Función
	Pérdidas en alimentadores primarios
	Pérdidas en el núcleo (hierro) del transformador
	Pérdidas en los devanados (cobre) del transformador
	Ayuda
	Salir

Estado

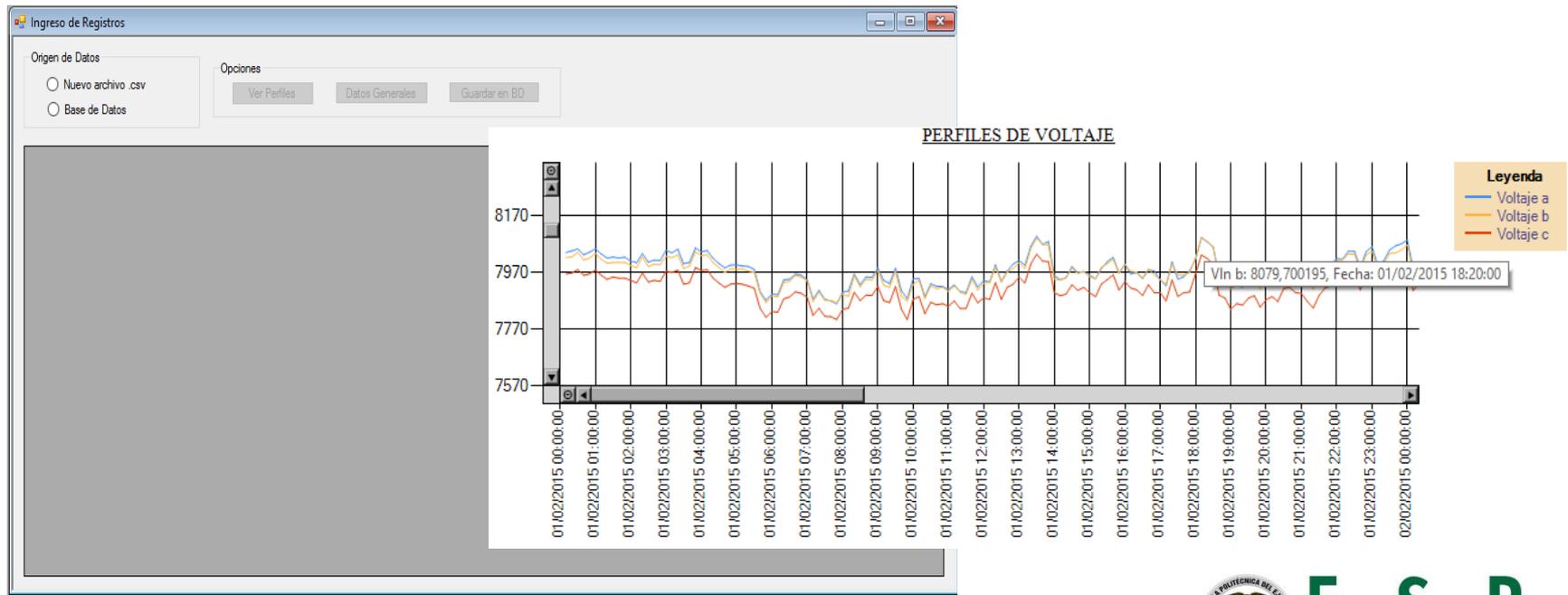


# IMPLEMENTACIÓN

## Formulario para Calcular las Pérdidas en Potencia y Energía en Alimentadores Primarios

Los registros descargados de los analizadores deben ser configurados de la siguiente manera:

- **Orden:** fecha y hora en un mismo campo, voltajes, corrientes y factores de potencia de cada fase; potencia activa, potencia reactiva y energía (kWh).
- **Formato:** .csv.



# IMPLEMENTACIÓN

Al seleccionar **Datos Generales** se abre una ventana en la que se debe ingresar el valor de pérdidas.

Ingreso de Registros

Origen de Datos

Nuevo archivo .csv

Base de Datos

Opciones

Ver Perfiles **Datos Generales**

Fecha/Hora	Vn a	Vn b	Vn c	I a	I b
01/02/2015 0:00:00000	8031.819824	8013.870117	7957.677734	20.161148	16.814693
01/02/2015 0:10:00000	8041.835449	8024.010254	7965.769043	20.833174	16.952984
01/02/2015 0:20:00000	8047.528320	8026.775391	7969.465820	19.428896	15.367073
01/02/2015 0:30:00000	8054.748047	8042.746582	7981.908203	22.343254	18.409260
01/02/2015 0:40:00000	8033.803711	8015.533203	7961.209961	20.176401	16.183796
01/02/2015 0:50:00000	8043.023926	8022.034668	7966.437500	19.544361	16.914898
01/02/2015 1:00:00000	8054.868164	8038.833496	7979.858887	19.655344	15.875628
01/02/2015 1:10:00000	8036.392578	8017.853516	7961.710449	20.454550	16.574938
01/02/2015 1:20:00000	8022.446777	8003.892578	7947.074707	19.609137	16.915108
01/02/2015 1:30:00000	8025.909180	8006.919434	7955.740234	20.546595	17.198723
01/02/2015 1:40:00000	8022.815430	8006.658203	7950.958496	20.329224	17.007124
01/02/2015 1:50:00000	8025.550293	8007.045410	7951.577637	20.431614	17.322416
01/02/2015 2:00:00000	8011.609375	7996.150879	7943.582031	20.425650	16.713633
01/02/2015 2:10:00000	8005.904785	7988.455078	7934.808594	19.798563	16.366325
01/02/2015 2:20:00000	8038.208984	8026.460449	7969.710449	20.572144	16.971678

Datos Generales

Ingreso Datos

Pérdidas Resistivas de Potencia a Demanda Máxima (kW)

Fecha Inicio:  Hora Inicio:

Fecha Final:  Hora Final:

Intervalo de Tiempo (min):

**Calcular**

Ver en Excel

Energía (MWh)  Demanda Máxima (MW)

Factor de Carga (pu)  Fecha

Factor de pérdidas (pu)  Demanda Media (MW)

Pérdidas en el Conductor (MWh)  Demanda Mínima (MW)

Fecha



# IMPLEMENTACIÓN

## Formulario para Calcular Pérdidas en Potencia y Energía en los Devanados del Transformador

La metodología para calcular éstas pérdidas es la misma usada para determinar las pérdidas en el alimentador, con la particularidad de que las pérdidas a demanda máxima son la suma de todas las pérdidas parciales de cada transformador. Este valor se ingresa en la ventana de pérdidas en el cobre y se posteriormente se da clic sobre el botón **Calcular**.

Menú Principal

Ingreso de Registros

Origen de Datos

Nuevo archivo .csv

Base de Datos

Opciones

Ver Perfiles

Datos Generales

Guardar en BD

Fecha/Hora

01/02/2015 0:00

01/02/2015 0:10

01/02/2015 0:20

01/02/2015 0:30

01/02/2015 0:40

01/02/2015 0:50

01/02/2015 1:00

01/02/2015 1:10

01/02/2015 1:20

01/02/2015 1:30

01/02/2015 1:40

01/02/2015 1:50

01/02/2015 2:00

01/02/2015 2:10:00000

01/02/2015 2:20:00000

Datos Generales

Ingreso Datos

Pérdidas Resistivas de Potencia a Demanda Máxima (kW) 233

Fecha Inicio: 01/02/2015 Hora Inicio: 0:00

Fecha Final: 03/02/2015 Hora Final: 23:50

Intervalo de Tiempo (min): 10

Energía (MWh) 47,16

Demanda Máxima (MW) 1210,7

Factor de Carga (pu) 0,549

Fecha 02/02/2015 15:00

Factor de pérdidas (pu) 0,341

Demanda Media (MW) 664,24

Pérdidas en el Conductor (MWh) 5,65

Demanda Mínima (MW) 350,63

Fecha 02/02/2015 3:10:00

Pérdidas en el Cobre del Transformador

Trabajar con

Todos

Muestra

Pérdidas Resistivas de Potencia a Demanda Máxima (kW) 145

Calcular

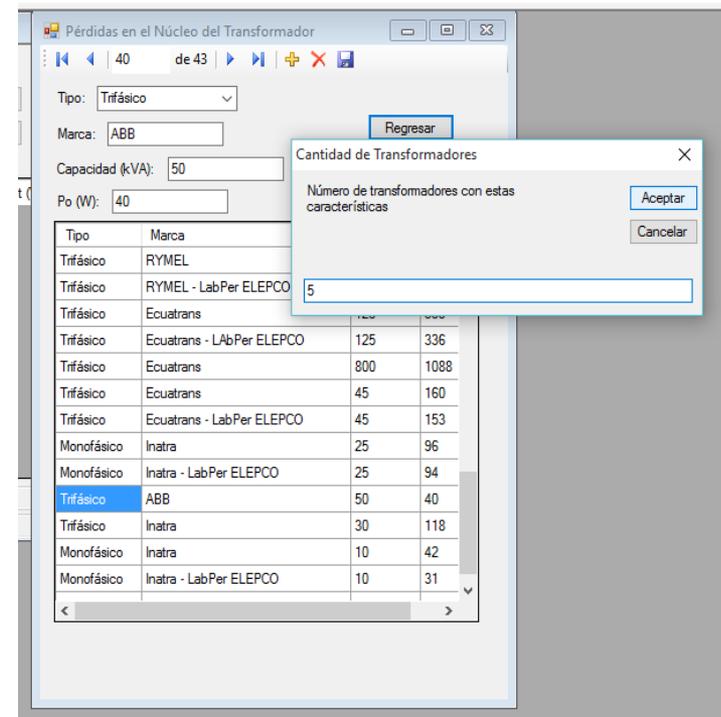
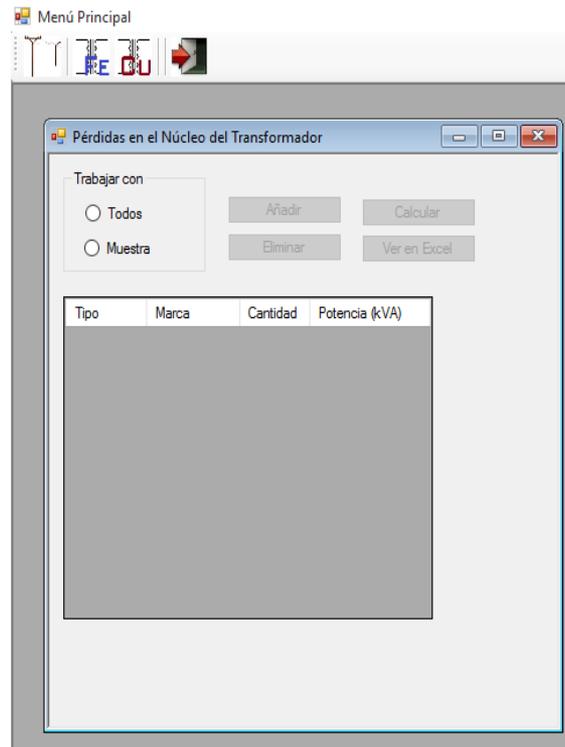
Pérdidas en el Conductor (MWh) 3,51

809410	418.198547	167.281067	65.273422	27.584299	0.000000
884227	406.745636	161.726089	66.355408	28.304276	0.000000
873419	413.587799	171.232895	67.355637	27.825323	0.000000
864644	407.248169	175.632431	66.211868	28.446154	0.000000
877330	413.571899	173.141937	66.665253	29.184155	0.000000
887540	406.232056	173.359360	67.828239	29.311937	0.000000
809410	418.198547	167.281067	65.273422	27.584299	0.000000
884227	406.745636	161.726089	66.355408	28.304276	0.000000
873419	413.587799	171.232895	67.355637	27.825323	0.000000
864644	407.248169	175.632431	66.211868	28.446154	0.000000
877330	413.571899	173.141937	66.665253	29.184155	0.000000
887540	406.232056	173.359360	67.828239	29.311937	0.000000
809410	418.198547	167.281067	65.273422	27.584299	0.000000
884227	406.745636	161.726089	66.355408	28.304276	0.000000
873419	413.587799	171.232895	67.355637	27.825323	0.000000
864644	407.248169	175.632431	66.211868	28.446154	0.000000
877330	413.571899	173.141937	66.665253	29.184155	0.000000
887540	406.232056	173.359360	67.828239	29.311937	0.000000

# IMPLEMENTACIÓN

## Formulario para Calcular Pérdidas en Potencia y Energía en el Núcleo del Transformador

Una vez seleccionada cualquiera de las dos opciones (Todos o Muestra) se activan los botones **Añadir** y **Calcular**. Al dar clic sobre el botón **Añadir** se muestra un nuevo formulario que contiene una tabla que contiene el tipo, marca, capacidad (kVA) y la Potencia de pérdidas nominales (kW).



# IMPLEMENTACIÓN

Al seleccionar el botón **Calcular** se muestra la suma de todas las potencias de pérdidas producidas en el núcleo.

Trabajar con

Todos  Muestra

Añadir Calcular  
Eliminar Ver en Excel

Tipo	Marca	Cantidad	Potencia (kVA)
Trifásico	ABB	5	50
Trifásico	RYMEL	1	75
Monofásico	Inatra	2	50
Monofásico	Inatra	1	38
Trifásico	Ecuatrans	2	15
Trifásico	Ecuatrans	3	30

Trabajar con

Todos  Muestra

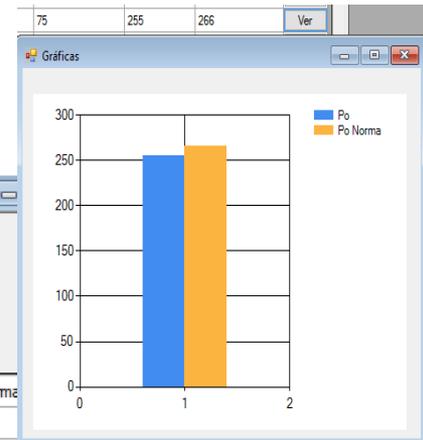
Añadir Calcular  
Eliminar Ver en Excel

Tipo	Marca	Cantidad	Potencia (kVA)	Po Tot (W)	Po Tot (W) Norma
Trifásico	ABB	5	50	200	985
Trifásico	RYMEL	1	75	255	266
Monofásico	Inatra	1	38	105	132
Trifásico	Ecuatrans	2	15	122	160
Trifásico	Ecuatrans	3	30	351	402

TOTAL 12 1033 1945

TOTAL ENERGÍA EN EL MES (720 HORAS) 743,76 kWh

TOTAL ENERGÍA EN EL AÑO (8640 HORAS) 8925,12 kWh



# VALIDACIÓN

La validación de la aplicación se realizó mediante la comparación entre las pérdidas de media tensión presentadas por la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A, ELEPCO S.A, en el mes de mayo 2015 de la subestación Lasso.

## Pérdidas máximas obtenidas del reporte de Cymdist

Alimentador	Pérdidas Máximas en el Alimentador (kW)	Pérdidas Máximas Totales en los Transformadores (kW)
SALIDA 1	27,974	15,591
SALIDA 2	17,109	2,63
SALIDA 3	6,317	4,146
SALIDA 4	3,035	1,21



# VALIDACIÓN

A continuación se muestra la Tabla II con la comparación y el porcentaje de error entre los resultados.

		SALIDA 1	SALIDA 2	SALIDA 3	SALIDA 4	ERROR MÍNIMO (%)	ERROR MÁXIMO (%)	ERROR (%)
<b>ENERGÍA (MWH)</b>	ELEPCO S.A	999,97	816,90	446,45	559,17	0,00	0,02	0,01
	Aplicación	999,97	817,02	446,50	559,17			
	Error (%)	0,00	0,02	0,01	0,00			
<b>DEMANDA MÁXIMA (MW)</b>	ELEPCO S.A	2,33	1,71	1,36	1,32			
	Aplicación	2,33	1,71	1,36	1,32			
	Error (%)	0,00	0,00	0,00	0,00			
<b>FACTOR CARGA PU</b>	ELEPCO S.A	0,58	0,64	0,44	0,57			
	Aplicación	0,58	0,65	0,44	0,57			
	Error (%)	0,01	0,14	0,02	0,11			
<b>FACTOR PÉRDIDAS PU</b>	ELEPCO S.A	0,40	0,45	0,23	0,38			
	Aplicación	0,39	0,46	0,21	0,36			
	Error (%)	2,95	0,92	5,34	6,35			
<b>ENERGÍA PÉRDIDAS ALIMENTADOR (MWH)</b>	ELEPCO S.A	8,02	5,81	0,96	0,78			
	Aplicación	8,02	5,81	0,93	0,78			
	Error (%)	0,06	0,02	3,06	0,49			
<b>ENERGÍA PÉRDIDAS COBRE TRAF0 (MWH)</b>	ELEPCO S.A	4,47	0,89	0,63	0,31			
	Aplicación	4,47	0,89	0,63	0,31			
	Error (%)	0,10	0,63	0,35	0,59			
<b>PROMEDIO TOTAL</b>								<b>0,96</b>



# DISTRIBUCIÓN

La aplicación cuenta con un botón **Ayuda** que permite visualizar un archivo en formato pdf que contiene la siguiente información:

- Una breve introducción con las características de la aplicación.
- Los requerimientos previos antes de usar la aplicación
- El modo correcto de utilizar la aplicación, la utilidad de cada botón y los posibles resultados que se pueden presentar, con imágenes que permitan al usuario entender claramente la forma de interactuar con la aplicación.



# CONCLUSIONES

- La metodología seleccionada para el cálculo de pérdidas técnicas en los conductores de alimentadores primarios y transformadores de distribución es la descrita en el paper “A New Method to Calculate Power Distribution Losses in an Environment of High Unregistered Loads” elaborada por Mentor Poveda y su posterior demostración y aplicación en las tesis de la EPN “Propuesta de estandarización en el cálculo de pérdidas técnicas de potencia y energía en las empresas de distribución del país” de Carlos Castellanos y “Aplicación de Metodología Uniforme de Cálculo de Pérdidas Técnicas en Empresas de Distribución” de Diego Álvarez.
- Se realizó el diseño y la implementación de la aplicación usando los ciclos de vida de los sistemas informáticos con la herramienta Visual Basic Express 2010 debido a que permite desarrollar una aplicación independiente de otro programa; y a las facilidades que brinda para trabajar con grandes cantidades de información, con los recursos gráficos y finalmente con bases de datos en Access 2013; se decidió almacenar los registros en Access 2013 para que los estudios de pérdidas se puedan realizar para periodos mayores a un mes.



# CONCLUSIONES

- Se generó una base de datos con respecto a las pérdidas en vacío de los transformadores de distribución teniendo en cuenta los catálogos del fabricante y también las pruebas de laboratorio realizadas por ELEPCO S.A; a la vez esta base puede ser modificada según el criterio del usuario ya que se debe ir adaptando a las mejoras que los fabricantes de transformadores pueden hacer; conllevando a una disminución en las pérdidas de vacío.
- Se logró determinar las pérdidas tanto en potencia como de energía en los conductores de los alimentadores primarios y en los transformadores de distribución mediante la correcta aplicación de la metodología antes descrita.
- La validación de la aplicación se realizó mediante la comparación de los resultados obtenidos con la aplicación con los que presenta mensualmente la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A (ELEPCO S.A), a la Agencia Reguladora de Energía (ARCONEL), ya que éstos valores representan la veracidad de las pérdidas en medio voltaje que tiene la distribuidora.



# RECOMENDACIONES

- Es importante que el personal encargado del cálculo de pérdidas técnicas de cualquier empresa distribuidora haga uso de la aplicación desarrollada en este proyecto de manera que se optimiza los recursos computacionales, haciendo uso del tiempo en planificar propuestas que permitan la reducción y el control de las pérdidas en los diferentes componentes del sistema.
- Se recomienda revisar los registros de carga de los alimentadores para corregir errores en las lecturas que suelen ser producidas por falla en la comunicación; y completar todos los registros para tener cálculos más realistas.
- Previo a la utilización del software es necesario que se realice la corrida de flujos a demanda máxima para determinar las pérdidas de potencia máxima que se producen en el alimentador primario como en los transformadores, dato que es indispensable para realizar los posteriores cálculos en la aplicación.

