



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

OLINDA - PERNAMBUCO - BRASIL

### Simulador Gráfico para Análise e Monitoramento em Tempo Real de Redes Elétricas de Distribuição

**Alexis Martínez del Sol**  
**Grupo Artech**  
[amds@artech.es](mailto:amds@artech.es)

**Jorge Javier Mier García**  
**Grupo Artech**  
[jmier@artech.com.mx](mailto:jmier@artech.com.mx)

**Gracita Batista Rosas**  
**Grupo Artech**  
[gbr@artech.com.br](mailto:gbr@artech.com.br)

#### Palavras-chave

Capacitores.

Perdas de Energia.

Perdas de Potência.

Redes de Distribuição.

#### Resumo

Tradicionalmente, nos cálculos relacionados às redes de distribuição são realizadas numerosas aproximações devidas fundamentalmente, a dificuldade de se obter dados confiáveis e as simplificações dos algoritmos utilizados. Neste artigo se realiza a análise da representação de cada elemento da rede, com o objetivo de se obter maior exatidão nos estudos realizados. Todos estes algoritmos foram incluídos em um software desenvolvido pelo grupo Artech, o qual permite realizar análises e monitoramentos em tempo real dos principais indicadores de uma rede de distribuição, tais como as transferências de potência, energia e perdas, assim como, ajuste, seleção e coordenação das proteções.

#### 1. INTRODUÇÃO

Os cálculos de engenharia, e de forma particular nas redes elétricas, estão expostos a imprecisões ou erros por duas causas fundamentais: a exatidão do modelo que se representa, e a precisão dos dados que se empregam.

Historicamente, para enfrentar estes estudos buscava-se a simplificação dos cálculos complexos associados aos problemas das redes elétricas, posteriormente, com o emprego dos computadores esta característica deixou de ser uma razão de peso, não obstante, permaneceram alguns critérios sobre as bases de simplificações e suposições que a rigor, na atualidade, não tem razão de existir.

Tendo estes precedentes, se desenvolveu um software para realizar análises de redes de distribuição, na qual se utilizou a programação orientada a objetos (POO) como base de desenho. Este método deixa para trás os métodos anteriores baseados em um desenho estruturado, e centra mais sua atenção nos diferentes objetos que compõem o sistema, assim como as inter-relações que existem entre eles, interconectando objetos de dados e operações de funcionalidade em uma forma que modulariza, como um todo, a informação e o processamento.

Realizou-se uma avaliação das principais aproximações associadas com os cálculos das redes de distribuição, as quais foram superadas com o simulador gráfico desenvolvido pelo grupo Artech (*DistributionSys*), o qual permite analisar o comportamento em regime permanente de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (tipo radial e em anel), assim como as possíveis contingência ou falhas dos mesmos. O software está desenvolvido sobre uma plataforma visual e permite realizar diferentes análises e monitoramentos da rede em tempo real. Os estudos implementados são: fluxos balanceados e desbalanceados, compensação ótima de potência reativa e seleção, ajuste e coordenação de dispositivos de proteção.

O software *DistributionSys* é utilizado como ferramenta de análise e tomada de decisões, nas áreas de distribuição pertencentes a Comissão Federal de Eletricidade, nas cidades de Guadalajara e Veracruz, no México e nos programas de pós graduação de várias universidades, dentre as quais se destaca, o Instituto Politécnico da Universidade de Virgínia nos Estados Unidos.

## 2. MODELAGEM DOS ELEMENTOS

### 2.1 Cargas

As cargas dos circuitos primários estão diretamente vinculadas aos consumidores e se caracterizam pelos seguintes parâmetros:

- Demanda de potência ativa e reativa com um comportamento horário característico em função dos serviços prestados. [1]
- Comportamento da demanda em função da sua representação, segundo a seguinte expressão:

$$P + jQ = (P_o + jQ_o) * (V/V_n)^e \quad (1)$$

onde:

$P + jQ$  : demanda de potência ativa e reativa.

$P_o + jQ_o$  : demanda a tensão nominal

$V_n$  : tensão nominal

$V$  : tensão real

$e$  : expoente para representação das cargas:

0: para potência constante,

1: para corrente constante,

2: para impedância constante.

- Cargas monofásicas e trifásicas em um mesmo banco de transformadores, que geralmente operam com diferentes valores de fator de potência e com a distribuição própria entre os transformadores e as fases associadas aos mesmos. Este feito é a principal causa de desequilíbrio entre os circuitos primários.

## 2.2 Transformadores

Alguns métodos de cálculo de redes de distribuição omitem a avaliação dos bancos de transformadores associados às cargas, enquanto outros os consideram simétricos. Na realidade dos circuitos de distribuição primária, os bancos de transformadores estão formados por unidades monofásicas de um, dois ou três transformadores convenientemente interconectados para oferecer diferentes tipos de serviços.

## 2.3 Linhas de Transmissão

As linhas de transmissão dos circuitos de distribuição primária se apóiam em cruzamentos horizontais, em casos diferentes, os condutores se situam sobre os vértices de triângulos irregulares, resultando determinado grau de assimetria que deixa sentir sua influência nas tensões das fases.

A assimetria das linhas de transmissão na prática não é de grande significado devido ao curto percurso destes circuitos e os analistas geralmente não levam em consideração este feito, pois encontra-se com frequência a representação das linhas por uma impedância igual para cada fase, que para uma frequência de 60Hz é dada por:

$$Z = R + jX \quad (2)$$

$$X = 0,1738 \log \text{Deq} / r' (\Omega / \text{km}) \quad (3)$$

onde:

R: Resistência por fase de linha ( $\Omega$ ).

X: Reatância por fase de linha ( $\Omega$ ).

Deq: Distância equivalente entre os condutores (mm).

r': Autodistância geométrica média do condutor (mm).

Entretanto, o feito de considerar o desequilíbrio das correntes para as fases na hora de calcular as tensões permite, por vez, incluir a assimetria construtiva das linhas ao empregar a equação:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \\ \Delta V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

## 2.4 Capacitores

É comumente utilizado como critério de otimização na instalação de banco de capacitores, a máxima redução de perdas de potência, a qual se alcança a partir de:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial l_c} = 0 \quad (5)$$

$$\Delta P = \int_0^{l_c} [i(l) - I_c]^2 dl + \int_{l_c}^L [i(l)]^2 dl \quad (6)$$

onde:

$\Delta P$ : perdas de potência provocadas pela circulação de corrente reativa.

$i(l)$ : distribuição da corrente reativa ao longo do circuito.

$I_c$ : corrente do capacitor.

$l_c$ : lugar de instalação do capacitor.

$L$ : comprimento total do circuito.

Mesmo a que equação (6) esteja formulada considerando uma distribuição contínua de corrente, e linhas com calibres de condutores uniformes, as conclusões que se obtém são válidas para as condições reais dos circuitos [3]. A avaliação de economia de energia nas linhas devido à ação da corrente capacitiva é calculada mediante a seguinte equação [4]:

$$Economia = T * \sum_{i=1}^n R_i * \left( 2 * I_c * I_{\max i} * FC - I_c^2 \right) \quad (7)$$

onde :

$T$  : tempo de avaliação das perdas de energia.

$R_i$  : resistência da linha no circuito i.

$I_{\max i}$  : corrente reativa máxima no circuito i.

$FC$  : fator de carga do gráfico de potência reativa

$n$  : número de circuitos da linha desde a subestação até o ponto  $l_c$

Se a instalação dos capacitores é realizada de acordo com as equações (5) e (6), a economia de energia é correspondente com a instalação para a máxima redução de perdas de potência [5]. Para alcançar a máxima economia de energia é preciso determinar a instalação ótima dos capacitores de acordo com as seguintes equações:

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial lc} = 0 \quad (8)$$

$$\Delta E = \int_0^L \int_0^T [i(l,t) - I_c]^2 dt dl + \int_0^L \int_0^T [i(l,t)]^2 dt dl \quad (9)$$

onde:

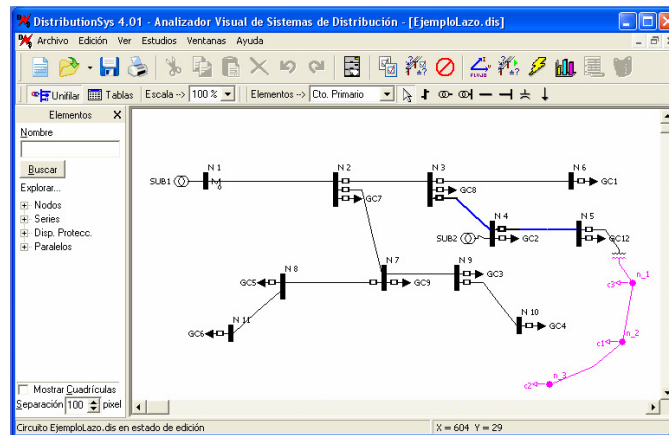
$\Delta E$  : perdas de energia durante o intervalo de tempo  $T$ .

$i(l,t)$  : distribuição da corrente reativa ao longo do circuito durante o tempo  $T$

Neste caso é válida a aplicação da equação (7), cuja única diferença com a equação (6) reside no valor de  $I_c$ , que agora é menor. Como se conhece o gráfico da carga em cada ramo ou seção do circuito, ao aplicar (7) se utiliza o valor de FC de cada ramo e não o valor geral para todo o circuito, o que assegura maior exatidão dos resultados [6]. Em todos os casos os capacitores se representam com impedâncias constantes.

### 3. O SOFTWARE DISTRIBUTIONSYS

O analisador visual de redes de distribuição *DistributionSys* [2,7] é o resultado de um processo de perfeccionismo dos algoritmos de cálculo, onde foram excluídas a maior parte das simplificações existentes nos sistemas precedentes. A Imagem 1 ilustra a janela principal do sistema.



**Imagem 1.** Janela principal do *DistributionSys*

O software está desenhado para analisar o comportamento em regime permanente dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (tipo radial ou em anel), assim como as possíveis contingências ou falhas dos mesmos. O Software está desenvolvido sobre uma plataforma visual muito simples e de fácil utilização, permitindo realizar as seguintes análises:

- **Análises de fluxos de cargas equilibradas:** Considera que toda a carga se encontra uniformemente distribuída pelas três fases do circuito provocando iguais quedas de tensão e perdas por fase. Neste estudo se determinam as tensões em cada nó, hora a hora de acordo com o gráfico de carga introduzido, as transferências de potência e energia, perdas e correntes em cada linha do circuito analisado, assim como as perdas de potência e energia nos transformadores das cargas.
- **Análises de fluxos de cargas desequilibradas:** Consiste em diferenciar a carga para cada fase e permite conhecer com mais detalhes a situação real dos circuitos. É útil utiliza-la quando os dados primários do estudo considerado são fiéis reflexos do estado atual dos circuitos. Determinam-se as tensões de fase e de linha em cada nó, hora a hora de acordo como gráfico de carga introduzido, as transferências de potência e energia por fase, perdas e correntes nas linhas do circuito analisado assim como as perdas de potência e energia nos transformadores das cargas. Só é aplicado para circuitos tipo radial.
- **Possibilidade de incluir restrições aos estudos de fluxo de carga:** Permite ao usuário especificar uma série de restrições que o algoritmo de fluxo de carga deve cumprir para garantir uma determinada condição técnica. Estão habilitados dois tipos de restrições: **tensão**, que permite garantir uma mínima tensão em um determinado nó e **perdas**, para garantir um valor destas inferiores ao valor específico.
- **Análises de modificações** para melhorar os parâmetros técnicos e econômicos dos circuitos, e que incluem mudanças do calibre e dos suportes.
- **Compensação ótima de potência reativa:** Permite a instalação ótima de bancos de capacitores para minimizar as perdas de potência ou energia.
- **Seleção e coordenação gráfica de proteções** utilizadas em redes radiais de distribuição: inclui fusíveis, religadores e relés.
- Realização de análises em tempo real da operação das redes de distribuição de energia elétrica.

O software permite a edição do diagrama unifilar da rede de distribuição através de três formas possíveis: visual (de forma natural os elementos da rede são inseridos em uma janela de edição gráfica, com as facilidades dos editores atuais como copiar, colar, desfazer, etc.), tabular (os dados são editados em forma de tabelas) e mediante a importação de arquivos do MS Excell (os dados são editados em uma planilha excell e o software “importa” e converte ao formato próprio do sistema **DsitributionSys**).

Os elementos a serem simulados nos circuitos de distribuição se dividem em dois grupos:

- **Circuito Primário:** Elementos básicos da rede que formam os circuitos primários: Nós, Linhas, Subestações, Capacitores, Cargas e Proteções.
- **Circuito Secundário:** Elementos que formam os circuitos secundários que partem de algum Nó do circuito primário, como Transformadores de conexão, Nós, Linhas e Cargas.

**DistributionSys** oferece todos os resultados das diferentes análises em forma tabular ou em perfis gráficos de tensão, correntes, reativos, etc. Estes resultados podem ser exportados para formatos padrões como: MS Excel, MS Word e texto, facilitando a interação de resultados e dados com outros sistemas.

#### 4. APLICAÇÃO

O software **DistributionSys** tem sido utilizado como ferramenta de análise e tomada de decisões, nas áreas de distribuição pertencentes a Comissão Federal de Eletricidade, nas cidades de Guadalajara e Veracruz, no México e nos programas de pós-graduação de várias universidades, entre as quais se destacam, o Instituto Politécnico da Universidade da Virgínia, Estados Unidos [8,9] e as universidades de Guadalajara, Universidade Nacional Autônoma de Nova León e Universidade Veracruzana, no México.

Também é utilizado por várias empresas dedicadas ao desenho e construção de redes elétricas de distribuição em vários estados do México e como ferramenta de apoio a cursos de engenharia mecânica, engenharia elétrica e ramos afins dos estados de Jalisco, Guerrero e Veracruz no México.

Como exemplo de aplicação do sistema **DistributionSys** se analisa um circuito de distribuição primária (23kV) e secundária (120V) integrada por 14 nós, 12 linhas, 12 cargas, 7 dispositivos de proteção e duas fontes de alimentação. A tabela 1 ilustra as tensões calculadas em fluxo balanceado.

**TABELA 1.** Tensões nos nós primários e secundários

Nome	Tensão Nominal (kV)	Tensão Calculada (kV)	% Regulação
N 1	22,8	22,800 $\angle 0^\circ$	0
N 2	22,8	22,777 $\angle -0,019^\circ$	0,102
N 3	22,8	22,777 $\angle -0,009^\circ$	0,101
N 4	22,8	22,792 $\angle -0,004^\circ$	0,035
N 5	22,8	22,783 $\angle 0,003^\circ$	0,076
N 6	22,8	22,774 $\angle -0,012^\circ$	0,113
N 7	22,8	22,752 $\angle -0,032^\circ$	0,212
N 8	22,8	22,746 $\angle -0,038^\circ$	0,235
N 9	22,8	22,743 $\angle -0,036^\circ$	0,251
N 10	22,8	22,738 $\angle -0,038^\circ$	0,273
N 11	22,8	22,739 $\angle -0,041^\circ$	0,269
n_1	0,238	0,234 $\angle -0,801^\circ$	1,805
n_2	0,238	0,216 $\angle -0,186^\circ$	9,262
n_3	0,238	0,206 $\angle -0,391^\circ$	13,327

A tabela 2 ilustra as correntes nas linhas e na Imagem 2 o resultado do ajuste e coordenação de proteções correspondentes a um relé e um fusível.

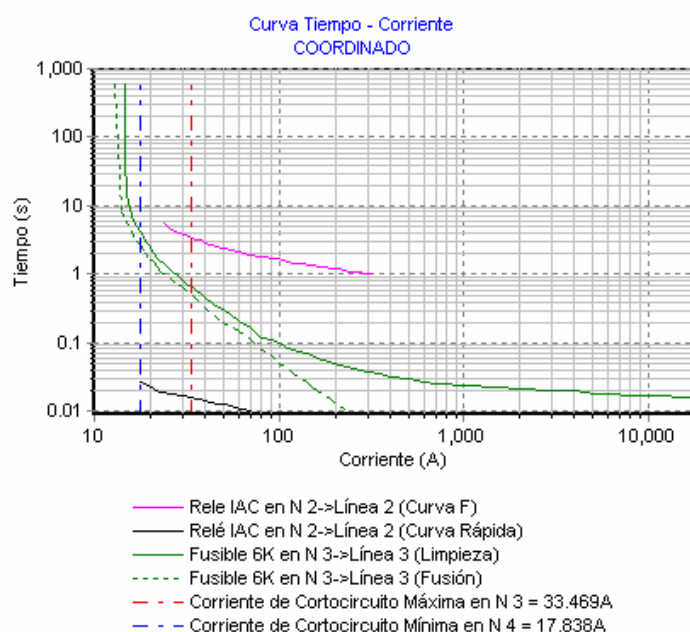
**TABELA 2.** *Correntes nas linhas*

Nome	Conexão	Corrente (A)
Linha 1	Trifásica	13,915 $\angle$ -30.355°
Linha 2	Trifásica	1,518 $\angle$ -122.605°
Linha 3	Trifásica	5,051 $\angle$ 169.549°
Linha 4	Trifásica	4,006 $\angle$ -34.140°
Linha 5	Trifásica	1,756 $\angle$ -18.447°
Linha 6	Trifásica	4,876 $\angle$ -24.002°
Linha 7	Trifásica	5,129 $\angle$ -22.871°
Linha 8	Trifásica	2,451 $\angle$ -24.000°
Linha 9	Monofásica	7,277 $\angle$ -24.004°
Linha 10	Trifásica	11,412 $\angle$ -24.704°
Linha 11	Bifásica	184,899 $\angle$ -30.106°
Linha 12	Bifásica	84,803 $\angle$ -34.081°

## 5. VERSÃO “ON LINE” DO SISTEMA DISTRIBUTIONSYS

Entre as diferentes possibilidades que oferece o software de *DistributionSys* está seu funcionamento “on line” acoplado a um sistema de medição e monitoramento das diferentes cargas que compõem os circuitos elétricos de distribuição. O sistema de medição e monitoramento tem que ser capaz de enviar a informação do estado atual das cargas da rede a processar.

A informação primária do estado das cargas da rede deve ficar armazenada em uma base de dados padronizada no computador onde se encontra instalado o *DistributionSys* ou em um lugar acessível para este programa. Os dados a armazenar para o sistema de monitoramento são os mínimos indispensáveis para que o *DistributionSys* possa executar todas as análises do circuito e tomar certas decisões de funcionamento da rede.

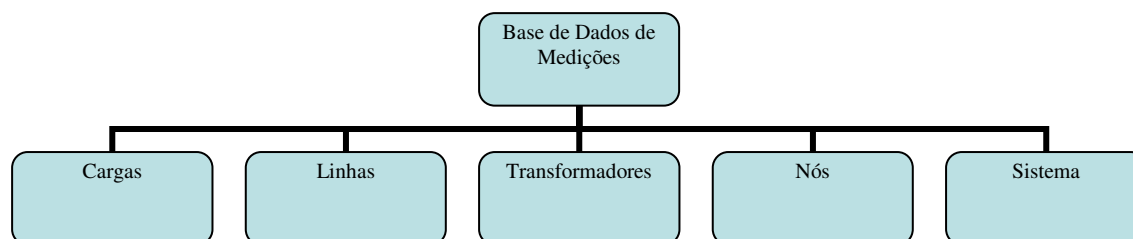


**Imagem 2.** *Exemplo de coordenação gráfica*



A base de dados pode ser realizada em qualquer sistema de gestão de dados existentes no mercado. A versão atual do *DistributionSys* contem a possibilidade de conexão a bases de dados MS Access, MS Excel, SQL Server, Interbase, Paradox e DBase IV. A estrutura das tabelas da base de dados é definida pelo sistema. O programa externo de monitoramento tem que ser capaz de adaptar-se a estrutura da base de dados do *DistributionSys*.

A base de dados, independentemente do sistema de gestão empregado, tem a estrutura de tabelas mostrada na Imagem 3:



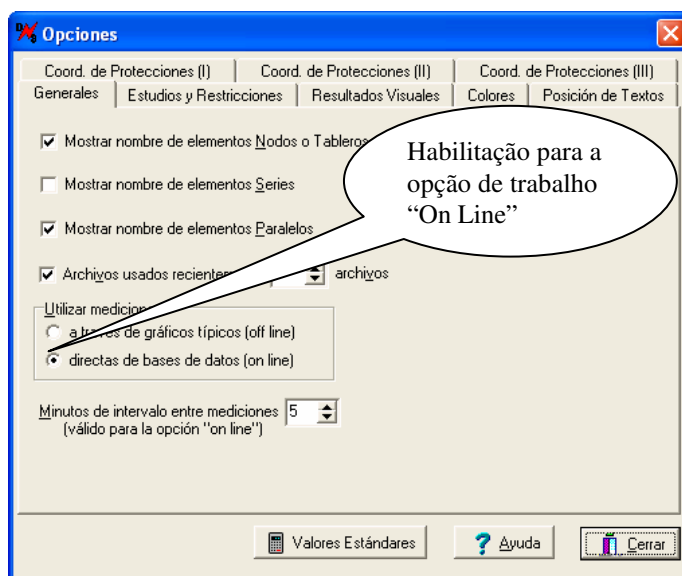
**Imagem 3.** Estrutura de tabelas inclusas na base de dados de Medições

Do ponto de vista funcional a tabela mais importante do esquema anterior é a que armazena os dados das medições nas cargas, esta tabela é a única que é atualizada diretamente pelo sistema de monitoramento. As demais tabelas são utilizadas internamente pelo *DistributionSys* para armazenar os cálculos realizados. A estrutura da tabela *Cargas* esta ilustrada a seguir:

**TABELA 4.** Estrutura da tabela *Cargas*

Nome do campo	Tipo de dado	Explicação
Arquivo	Texto	Arquivo de dados que pertence a carga
Carga	Texto	Indicativo (nome) da carga dentro do circuito
Dia	Data	Dia em que se realiza a medição
Hora	Data	Hora em que se realiza a medição
P	Numérico	Potência ativa (kW) da medição realizada
Q	Numérico	Potência reativa (kVAr) da medição realizada
Processado	Sim/Não	Indica se a medição já foi processada pelo sistema
DPCu	Numérico	Resultado do cálculo de perdas de cobre na carga realizada pelo <i>DistributionSys</i> para esta medição
DPFe	Numérico	Resultado do cálculo de perdas de ferro realizada pelo sistema para esta medição
Nó Conexão	Texto	Nó ao qual a carga está conectada.

As demais tabelas são utilizadas para armazenar os resultados dos cálculos realizados em cada componente da rede e sua estrutura será definida por *DistributionSys*. Para habilitar o funcionamento “on line” do software é preciso selecionar nas opções do programa este comportamento. A Imagem 4 ilustra os ajustes necessários para que o sistema se conecte com a base de dados de medições.



**Imagem 4.** Habilitação da opção “online”

O parâmetro “Minutos de intervalo entre medições” permite ajustar o tempo de atualização das medições provenientes do sistema de monitoramento. Geralmente, nos sistemas de distribuição se obtém resultados satisfatórios com um tempo de 5 minutos, dada uma variação lenta nas cargas.

Esta característica dos sistemas de distribuição permite que a funcionalidade “on line” do *DistributionSys* possa ser realizada através da conexão as bases de dados, sem necessidade de implementar algoritmos de comunicação rápidos no próprio código do programa.

Uma vez habilitada a opção “on line” do sistema e executado o estudo de fluxo de carga, o sistema monitora constantemente a base de dados de medições, cada vez que se adiciona um conjunto novo de medições se executam internamente todos os algoritmos de cálculo e se armazenam os resultados. Na tabela “Cargas”, se atualiza o campo *Procesado* passando seu estado para “true” para evitar que volte a ser processado na atualização posterior da base de dados.

Quando o usuário assim o determine, podem-se mostrar os resultados de cada estudo realizado pelo programa, selecionando previamente o período a ser mostrado como se observa na Imagem 5.

Línea	Fecha de Medición	Nodo Inicial	Nodo Final	Calibre Fase	Calibre Neutro	Longitud	DP(kW)	DQ(kVAr)
Línea 1	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 1	N 2	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	100 m	0.0424	0.0472
Línea 2	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 2	N 3	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	100 m	0.0067	0.0074
Línea 5	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 3	N 6	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	500 m	0.0019	0.0022
Línea 3	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 3	N 4	Al-No.3/0 AWG-XLP-		500 m	0.0085	0.0061
Línea 4	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 4	N 5	Al-No.3/0 AWG-XLP-		500 m	0.0047	0.0034
Línea 10	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 2	N 7	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	1000 m	0.1289	0.1438
Línea 6	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 7	N 8	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	200 m	0.0060	0.0067
Línea 7	23/06/06 01:10:00 a.m.	N 7	N 9	ACSR 3/0 6/1	ACSR 1/0 6/1	140 m	0.0038	

**Imagem 5.** Resultados da execução do programa

O programa pode estar executando constantemente e completar as tabelas de resultados de forma automática, permitindo realizar estudos sobre a operação da rede e tomar decisões para reduzir perdas em circuitos monitorados.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento das técnicas de cálculo tem permitido realizar análises mais exigentes em redes de distribuição levando a sua mínima expressão as suposições, simplificações e aproximações próprias dos cálculos de engenharia tradicionais.

Os dados de menor influência sobre as respostas são os parâmetros das linhas e transformadores, dado que a reatância indutiva da uma linha é função logarítmica da separação entre condutores (tipo de estrutura). Os parâmetros dos transformadores diferem ligeiramente para os diferentes fabricantes. Em nosso caso tem se tomado por efeito, valores médios [6] susceptíveis de serem modificados.

Os gráficos horários das cargas são os maiores pesos para avaliar as perdas de energia e por sua vez, são os mais difíceis de serem obtidos. Mesmo que seja possível dispor de curvas típicas [2] estas nem sempre se adaptam para todas as regiões em estudo.

O software *DistributionSys* oferece a possibilidade de realizar cálculos “on line” através de uma base de dados de medições que compartilhe com um sistema de monitoramento capaz de escrever a informação das medições das cargas na base de dados. Esta possibilidade de trabalho “on line” permite tomar decisões a cada momento, e manter os sistemas de distribuição em condições ótimas de exploração.

Este sistema tem as seguintes vantagens significativas em relação a sistema similares:

- Análise de circuitos primários e secundários em uma mesma rede de distribuição;
- Análise simultânea de varias redes elétricas;
- Possibilidade de realizar o processo de ajuste, seleção e coordenação de dispositivos de proteção de acordo com os critérios do usuário.
- Incorporação de base de dados de redes elétricas e dispositivos de proteção segundo as necessidades do usuário, independente de um fabricante em particular.
- Possibilidade de realizar estudos de reconfiguração de redes, para a análise da automação da distribuição.
- Otimização da quantidade e instalação de dispositivos de medição para estimar o estado da rede.
- Reduzidos requerimentos de cálculo para sua execução.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BISHP, M .T. & LEE, R.E.: “Distribution system line losses reduction through enhanced condensador location techniques”, IEEE Transaction on Power Delivery, April 1986, Vol -12, p.190.

- [2] MARTÍNEZ, D.A.: "Software para el análisis integral de redes de distribución primaria" Memórias do VII Simpósio Iberoamericano sobre Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, Monterrey, México, Nov. 2004
- [3] CASAS, L. & CASO, G.: "Criterios sobre la instalación de condensadores en circuitos de distribución radiales", Centro, revista científica da Universidade Central de Las Villas (UCLV). Suplemento especial Energética, p. 143, 1979
- [4] COOK, R.F.: "Calculating loss reduction offered by shunt condensators application", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol 83, p. 1127, 1964.
- [5] FLATEN, D.: "Distribution system losses calculated on power system", Vol 3, p 1263, 1988.
- [6] GONEN, T.: 'Electric power distribution system engineering', Mc Graw Hill Book Co, USA. 1986.
- [7] MARTÍNEZ, D.A: "Programa para el análisis de redes de distribución de energía eléctrica. Parte I y II". XVII Reunião de Verão de Potência e Aplicações Industriais RVP AI 2004, IEEE Seção México, Julho 2004
- [8] REE J. de la, SMITH P., CENTENO V. "Mapping the electrical influence of distributed generation on radial distribution networks using GIS", CRIS.2004, Grenoble, France, October 2004
- [9] REE J. de la, DEPABLOS J., CENTENO V., "Identifying distribution protection system vulnerabilities prompted by the addition of distributed generation", CRIS-2004, Grenoble, France, October 2004.