Análisis de Flujo de Potencia Equilibrado

Análisis de Flujo de Potencia equilibrado

- Introducción al Flujo de Potencia equilibrado (FPE).
- Matriz Admitancia de barras.
- Formulación del Problema del FPE.
- Métodos numéricos.
- Algoritmos para la solución del FPE
- Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

Bibliografía

- A. R. Bergen & V. Vittal ***Power Systems Analysis*****.** Second Edition. Prentice - Hall, 2000.
- G. L. Kusic. ***Computer-Aided Power Systems Analysis*****.** Second Edition. CRC Press, 2008.
- J. Arrillaga & C.P. Arnold ***Computer Analysis of Power Systems*****.** Wiley, 1990.
- J. Arrillaga; C.P. Arnold; B. J. Harker ***Computer Modelling of Electrical Power Systems*****.** Wiley, 1983.
- L. Powell. ***Power Systems Load Flow Analysis*****.** McGraw-Hill, 2004.

Bibliografía

- O. I. Elgerd. ***Electric Energy Systems Theory*. Second Edition. McGraw-Hill, 1983.
- J. J. Grainger & W. D. Stevenson ***Power Systems Analysis*. McGraw-Hill, 1994.
- C. A. Gross ***Power Systems Analysis*. Second Edition. John Wiley& Sons, 1986.
- **IEEE Brown Book** (IEEE Std 399™ – 1997: *Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis*)
- **IEEE Red Book** (IEEE Std 141™ – 1993: *Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*)

Bibliografía

- **NFPA 70™** National Electrical Code® 2008 Edition

- **National Electrical Safety Code® C2-2007**

- **IEEE Std 18™ - 2.002**: *IEEE Standard for Shunt Power Capacitors*

- **IEEE Std 1036™ – 1.992**: *IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors*

- **IEEE Std 824™ - 2.004**: *IEEE Standard for Series Capacitor Banks in Power Systems.*

- **IEEE Std C57.12.00™ – 2.006**: *IEEE Standard for Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*

- **IEEE Std C57.12.01™ – 2.005**: *IEEE Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers, Including Those with Solid-Cast and/or Resin Encapsulated Windings.*

Bibliografía

- **IEEE Std C57.12.90™ – 2.006**: *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*

- **IEEE Std C57.12.91™ – 2.001**: *IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers*

- **IEEE Std C57.12.80™ – 2.002**: *IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers*

- **IEEE Std C50.12™ – 2.005**: *IEEE Standard for Salient-Pole 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications Rated 5 MVA and Above.*

- **IEEE Std C50.13™ – 2.005**: *IEEE Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above.*

Bibliografía

- **IEC 60831-1** Ed. 2.1 2.002-11. *Shunt Power Capacitors of the self-healing type for AC Systems having a rated voltage up to and including 1.000 V – Part 1: General – Performance, Testing and Rating – Safety requirements – Guide for installation and operation.*

- **IEC 60831-2** Ed. 2.0 1995-12. *Shunt Power Capacitors of the self-healing type for AC Systems having a rated voltage up to and including 1.000 V – Part 2: Ageing test, self-healing test and destruction test.*

- **IEC 60931-1** Ed. 2.0 1.996-11. *Shunt Power Capacitors of the non-self-healing type for AC Systems having a rated voltage up to and including 1.000 V – Part 1: General – Performance, Testing and Rating – Safety requirements – Guide for installation and operation.*

- **IEC 60931-1 am1** Ed. 2.0 2.002-12. *Amendment 1 - Shunt Power Capacitors of the non-self-healing type for AC Systems having a rated voltage up to and including 1.000 V – Part 1: General – Performance, Testing and Rating – Safety requirements – Guide for installation and operation.*

Bibliografía

- **IEC 60931-2** Ed. 2.0 1995-12. *Shunt Power Capacitors of the non-self-healing type for AC Systems having a rated voltage up to and including 1.000 V – Part 2: Ageing test and destruction test.*
- **IEC 60076-SER** Ed. 1.0 2009-05. *Power Transformer – ALL PARTS*
- **IEC 60034-1** Ed. 12.0 2010-02. *Rotating Electric Machines – Part 1: Rating and Performance.*
- **IEC 60034-3** Ed. 6.0 2007-11. *Rotating Electric Machines – Part 3: Specific Requirements for Synchronous Generators driven by Steam Turbines or Combustion Gas Turbines.*
- **ETAP®12.5 User Guide.**

Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia

Régimen permanente

Red en condiciones de operación normal

- Equilibrada
- Desquilibrada

Red en condiciones de operación bajo falla

- Equilibrada
- Desquilibrada

1. Sistema lineal o no lineal
2. Parámetros concentrados
3. “Foto” de un instante en el tiempo

Sistema de ecuaciones algebraicas

Régimen dinámico

Red en condiciones de operación normal

- Equilibrada
- Desquilibrada

Red en condiciones de operación bajo falla

- Equilibrada
- Desquilibrada

1. Sistema lineal o no lineal
2. Parámetros concentrados o distribuidos
3. Solución en el dominio del tiempo

Sistema de ecuaciones diferenciales

Introducción al FPE

- Objetivos para la operación de un SEP

  - ✓ Producir energía eléctrica al menor costo posible.
  - ✓ Transportarla hacia los centros de consumo con mínimas pérdidas.
  - ✓ Distribuirla al usuario final.
  - ✓ Mantener en todo momento la calidad y seguridad.

Introducción al FPE

- Dificultades Tecnológicas

✓ La energía eléctrica no puede ser almacenada como tal.

✓ En todo momento la producción debe igualar al consumo de energía eléctrica.

Introducción al FPE

- Cómo logramos estos objetivos?

  - ✓ A través de un exhaustivo análisis donde se evalúe el comportamiento del sistema en el corto, mediano y largo plazo.

- Que actividades desarrollamos para ello?

  - ✓ Planificación de la expansión
  - ✓ Programación de la operación
  - ✓ Operación/control en tiempo real

Introducción al FPE

- Estamos interesados en determinar el estado del sistema al operar en régimen permanente y equilibrado calculando:

  - ✓ Tensiones en barras (modulo y fase).
  - ✓ Potencia (activa y reactiva) en las líneas de transmisión y cables.
  - ✓ Pérdidas de potencia asociadas al sistema.
  - ✓ Condición de operación (carga/sobrecarga) del equipamiento.

Introducción al FPE

Propiedades requeridas a los algoritmos para solución de FPE	
Alta velocidad de computo	Grandes sistemas Aplicaciones en tiempo real Casos múltiples Aplicaciones interactivas
Bajo requerimiento de almacenamiento	Grandes sistemas Restricciones de hardware
Robustos	Problemas mal condicionados Análisis de Contingencias Aplicaciones en tiempo real

Introducción al FPE

Propiedades requeridas a los algoritmos para solución de FPE	
Versatilidad	Habilidad para manejar tanto las características convencionales como las especiales (representación y controles del equipamiento)
Adecuabilidad	Posibilidad de incorporarlo en procesos de cómputos mas complicados
Simplicidad	Facilidad para codificar, mantener y mejorar el software

Breve Historia de los algoritmos para FPE

~ *1915 hasta 1955* - Analizadores de Redes en CA y CC

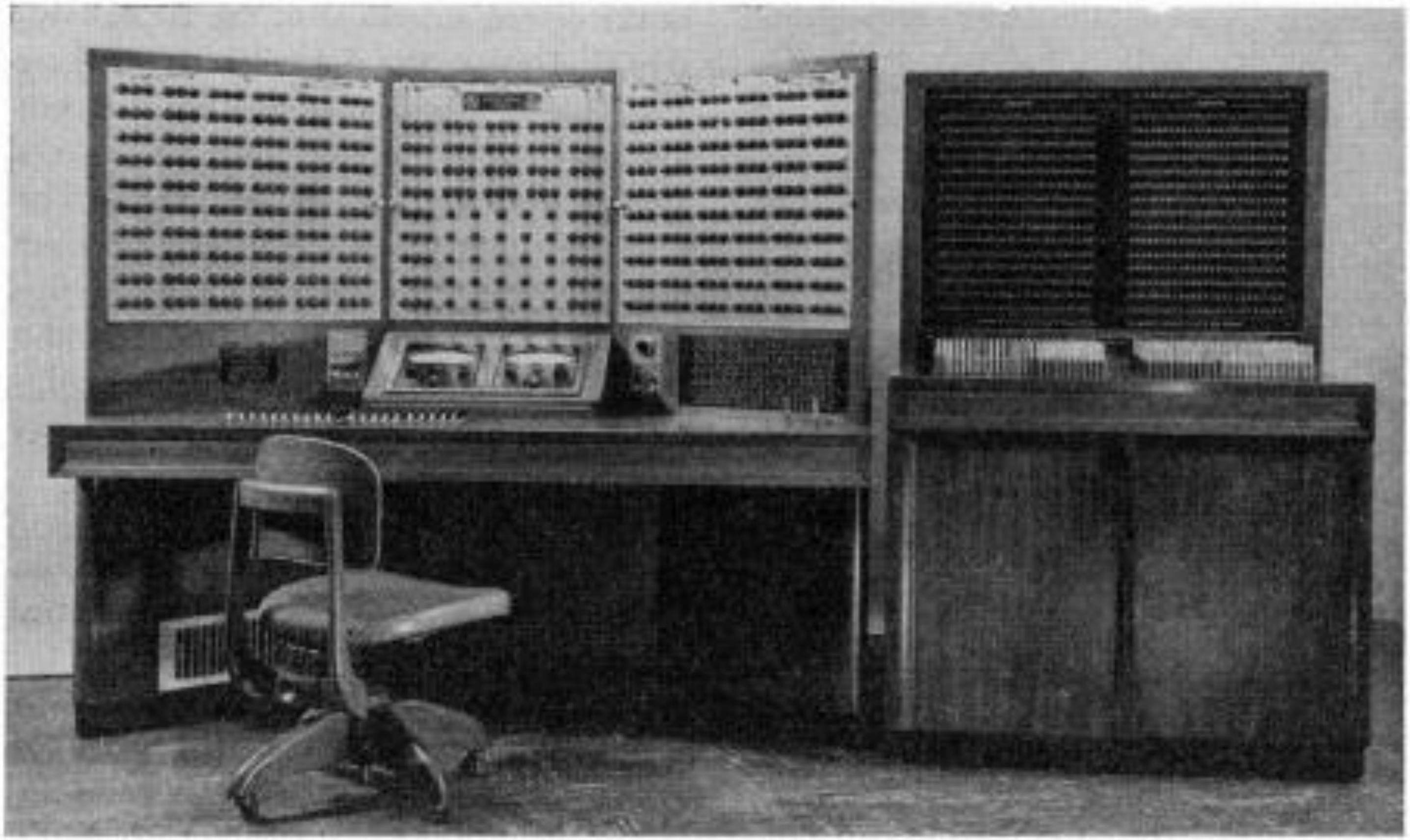


Fig. 1. One section of d-c network analyzer showing master console and connection unit

Breve Historia de los algoritmos para FPE

1. A Device for Calculating Currents in Complex Networks of Lines. *General Electric Review*, Schenectady, N. Y., vol. 19, 1916, pp. 901–02.

2. Calculation of Short-Circuit Currents in A-C Systems, W. W. Lewis. *Ibid.*, vol. 22, 1919, pp. 140–45.

3. Calculating Short-Circuit Currents in Networks, W. R. Woodward. *The Electric Journal*, Pittsburgh, Pa., vol. 16, 1919, pp. 344–45.

4. Experimental Determination of Short-Circuit Currents in Electric Power Networks, O. R. Schurig. *AIEE Transactions*, vol. 42, 1923, pp. 10–23.

5. Load Studies on the D-C Calculating Table, W. C. Hahn. *General Electric Review*, Schenectady, N. Y., vol. 34, 1931, pp. 444–45.

6. Gas Distribution Problems Solved by Electric Network Calculators, J. P. Clennon, J. K. Dawson. *Proceedings*, American Gas Association, New York, N. Y., 1951, pp. 380–414.

7. Calculating Tables and the Like, J. H. Starr. *United States Patent 2,301,470*, Nov. 10, 1942.

8. New Tricks for an Old Calculating Board, J. F. Fuller. *General Electric Review*, Schenectady, N. Y., vol. 56, Nov. 1953, p. 60.

9. The M.I.T. Network Analyzer, H. L. Hazen, O. R. Schurig, M. F. Gardner. *AIEE Transactions*, vol. 49, 1930, pp. 1102–14.

10. The Coordinated Use of A-C and D-C Network Analyzers, J. A. Casazza, W. S. Ku. *Proceedings* American Power Conference, Illinois Institute of Technology, Chicago, Ill., vol. 16, 1954, pp. 447–53.

11. Electrical Measuring Systems, E. H. Greibach. *United States Patent 1,990,782*, Feb. 12, 1935.

12. The Bifilar Suspension for Electrical Measuring Instruments, E. H. Greibach. *United States Patent 2,562,183*, July 31, 1951.

Breve Historia de los algoritmos para FPE

~ *1955* Primeros algoritmos prácticos para computadoras digitales (basados en la matriz Y)

J. B. Ward and H. W. Hale "Digital Computer Solution of Power Flow Problems" AIEE Trans., Vol. 75, pp. 398-404, June 1956.

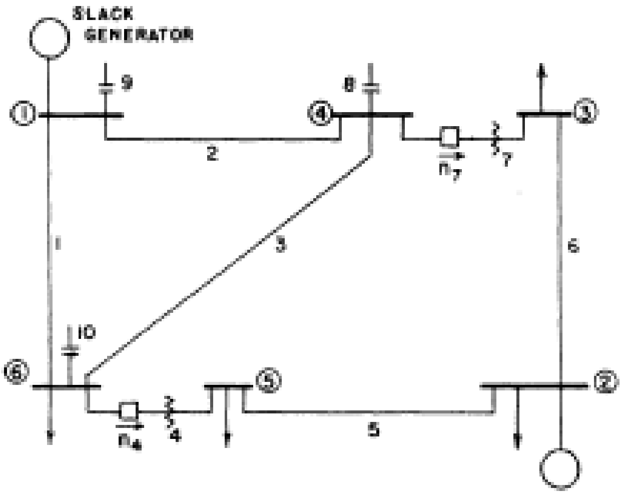


Fig. 1. Sample system

THE capabilities of automatic digital computers are receiving increasing attention in application to power system problems. This paper presents a method for solving on digital computers the power-flow problem which is probably the most frequently encountered type of problem in the field of power system network analysis. Digital solution of this class of problem can furnish a valuable tool to supplement the a-c network analyzer. In many system-planning studies, the network analyzer is still the best means for providing quickly and economically results of adequate accuracy. In some studies, such as analysis of losses and incremental losses, the network analyzer does not provide sufficient precision and, in such cases, the digital computer solution gains a distinct advantage.

In brief summary, the power-flow problem consists of imposing specified

Breve Historia de los algoritmos para FPE

~ *1960/70* Algoritmos basados en la matriz Z

H. E. Brown e.t al “Power Flow Solution by Impedance Matrix Iterative Methods ” IEEE Trans. PAS, Vol. 82, pp. 1-10, Apr. 1963.

Summary: A new load flow program has been developed which employs the node-impedance matrix of a system. A special input routine was developed that allows the line data to be in any order desired. The program has the capacity to control generator voltages within a specified var (reactive volt-ampere) range, and also to incorporate off-nominal autotransformers. In every system studied using this program, the time for solution was less than that required by the usual nodal branch admittance iterative method.

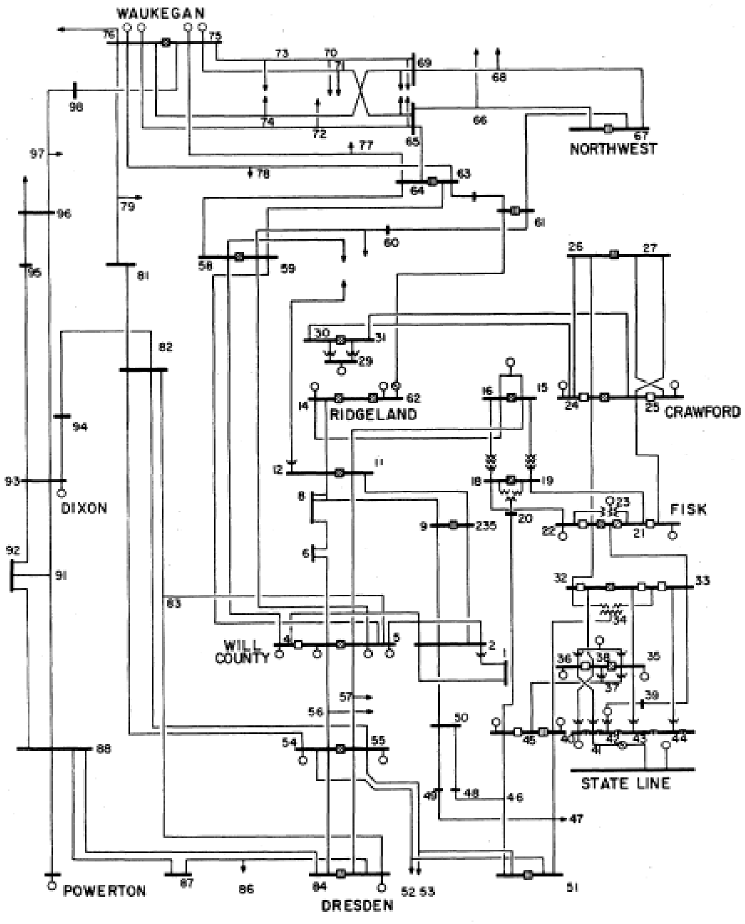


Fig. 2. One-line diagram of Commonwealth Edison Company major transmission system

Breve Historia de los algoritmos para FPE

1967 **Desarrollo de Técnicas de matrices ralas y factorizacion LU**

W.F. Tinney and J.W. Walker "Direct Solutions of Sparse Network Equations by Optimally Ordered Triangular Factorization " IEEE Proc., Vol. 55, pp. 1801-1809, Nov. 1967.

Abstract—**Matrix inversion is very inefficient for computing direct solutions of the large sparse systems of linear equations that arise in many network problems. Optimally ordered triangular factorization of sparse matrices is more efficient and offers other important computational advantages in some applications. With this method, direct solutions are computed from sparse matrix factors instead of from a full inverse matrix, thereby gaining a significant advantage in speed, computer memory requirements, and reduced round-off error. Improvements of ten to one or more in speed and problem size over present applications of the inverse can be achieved in many cases. Details of the method, numerical examples, and the results of a large problem are given.**

Breve Historia de los algoritmos para FPE

1967 **Aplicación de Técnicas de matrices ralas y factorizacion LU al método de Newton-Raphson**

W.F. Tinney and C.E. Hart "Power Flow Solution by Newton's Method" IEEE Trans. PAS, Vol. 86, pp. 1449-1456, Nov. 1967.

Abstract—The ac power flow problem can be solved efficiently by Newton's method. Only five iterations, each equivalent to about seven of the widely used Gauss-Seidel method, are required for an exact solution. Problem dependent memory and time requirements vary approximately in direct proportion to problem size. Problems of 500 to 1000 nodes can be solved on computers with 32K core memory. The method, introduced in 1961, has been made practical by optimally ordered Gaussian elimination and special programming techniques. Equations, programming details, and examples of solutions of large problems are given.

Breve Historia de los algoritmos para FPE

1972 Desarrollo del método de Newton-Raphson desacoplado

B. Stott "Decoupled Newton Load Flow " IEEE Trans. PAS, Vol. 91, pp. 1955-1959, Sep./Oct. 1972

Abstract—In Newton load-flow solutions the mathematical decoupling of busbar-voltage angle and magnitude calculations has several computational and conceptual attractions. A hybrid Newton formulation exploiting this principle has been developed and well tested. For moderately-accurate solutions the method has advantages over the formal Newton approach in terms of computer storage and speed, particularly in adjusted solutions, and is at least as reliably convergent.

THE FORMAL NEWTON APPROACH

In conventional Newton methods the equations of load flow are written as a single set F(X)=0 and solved by the formal application of the generalised Newton(-Raphson) algorithm:

$$F(X^k) = -\mathcal{J}(X^k).\Delta X^{k+1} \qquad (1)$$

The most popular and successful formulation is that in which F is the set of busbar active and reactive power mismatches and the solution variables are the unknown busbar-voltage angles and magnitudes. In this polar power-mismatch version, (1) becomes

$$\begin{bmatrix} \Delta P^k \\ \Delta Q^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H^k & N^k \\ J^k & L^k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\theta^{k+1} \\ \Delta V^{k+1} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Breve Historia de los algoritmos para FPE

1974 Desarrollo del método de Newton-Raphson desacoplado rápido

B. Stott and O. Alsac "Fast Decoupled Load Flow " IEEE Trans. PAS, Vol. 93, pp. 859-869, May./June 1974.

ABSTRACT

This paper describes a simple, very reliable and extremely fast load-flow solution method with a wide range of practical application. It is attractive for accurate or approximate off- and on-line routine and contingency calculations for networks of any size,and can be implemented efficiently on computers with restrictive core-store capacities. The method is a development on other recent work employing the MW-Θ/MVAR-V decoupling principle,and its precise algorithmic form has been determined by extensive numerical studies. The paper gives details of the method's performance on a series of practical problems of up to 1080 buses. A solution to within 0.01 MW/MVAR maximum bus mismatches is normally obtained in 4 to 7 iterations, each iteration being equal in speed to 1½ Gauss-Seidel iterations or 1/5th of a Newton iteration. Correlations of general interest between the power-mismatch convergence criterion and actual solution accuracy are obtained.

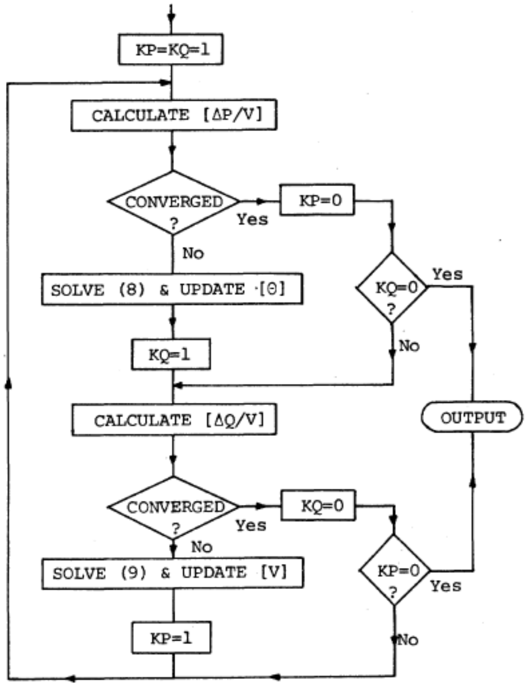
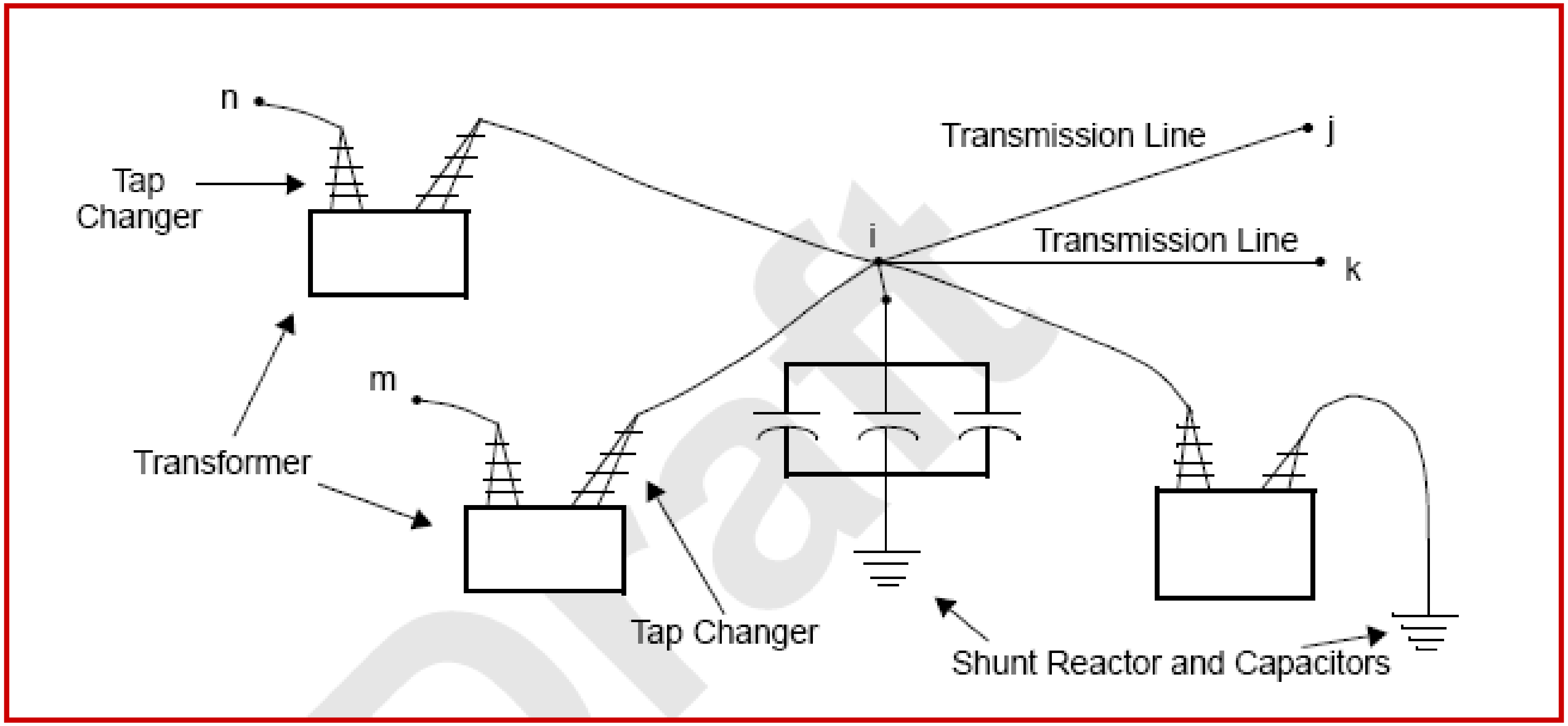


Fig. 1 Flow diagram of the iteration scheme

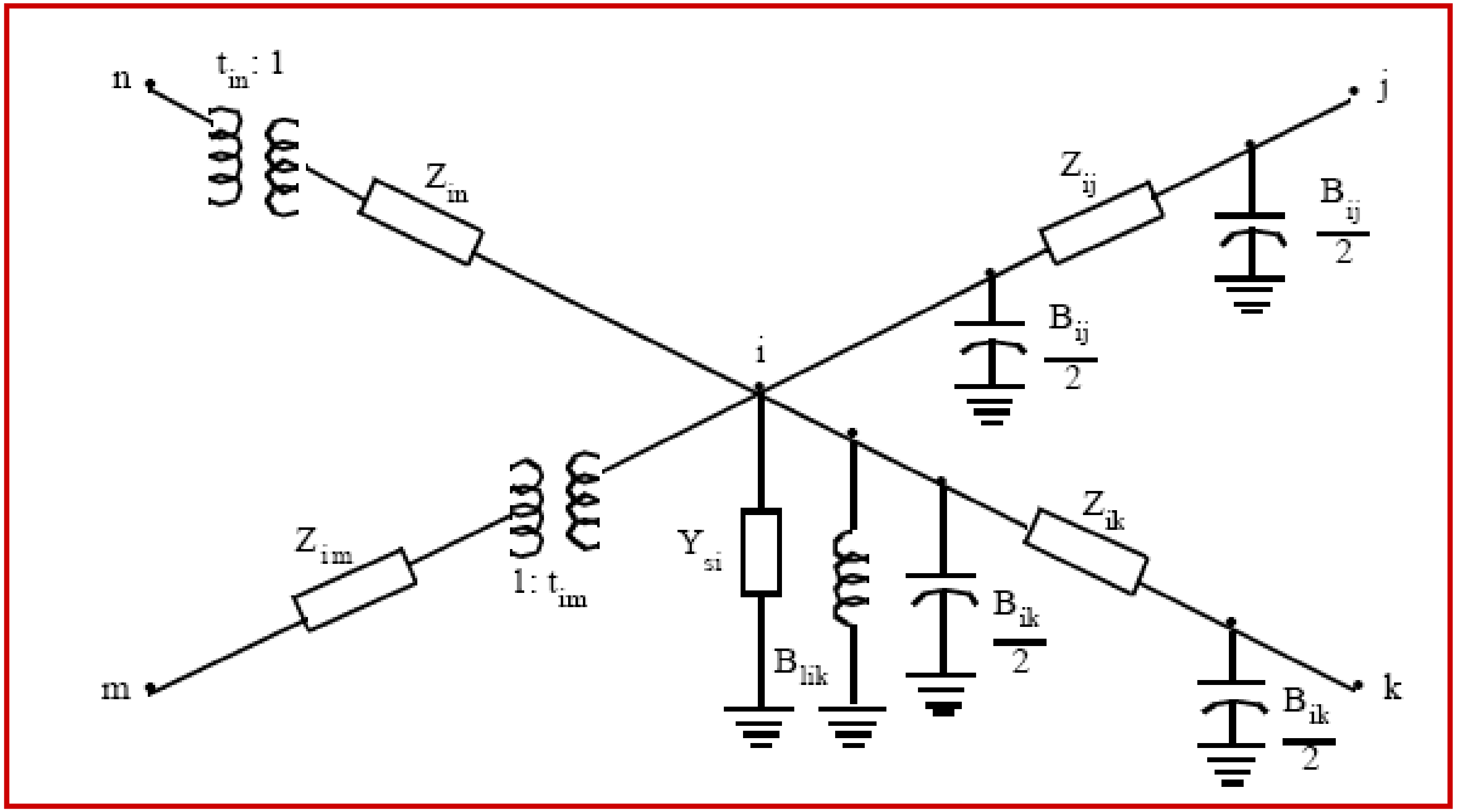
Breve Historia de los algoritmos para FPE

Matriz admitancia de barras



Equipamiento conectado a la barra i

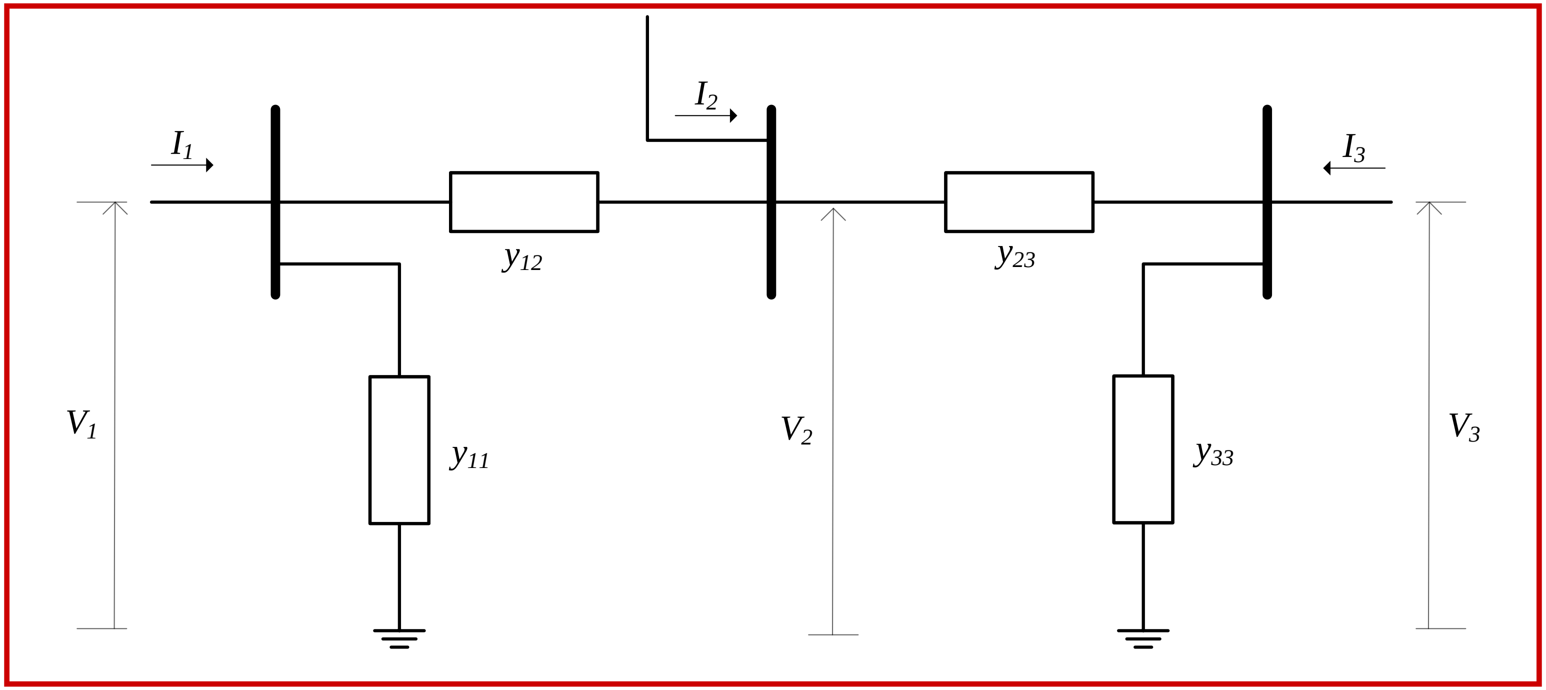
Matriz admitancia de barras



Circuito equivalente para la barra i del sistema de transmisión

Matriz admitancia de barras

El diagrama unifilar de la red:



Matriz admitancia de barras

La corriente a través de la admitancia y_{12} está dada por:

$$\mathbf{I}_{12} = \mathbf{y}_{12}(\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2)$$

En forma genérica las corrientes serán:

$$\mathbf{I}_{ki} = \mathbf{y}_{ki}(\mathbf{V}_k - \mathbf{V}_i)$$

La sumatoria de las corrientes entrantes a un nodo debe ser igual a la sumatoria de las corrientes salientes, por lo tanto:

$$\mathbf{I}_k = \sum_{i=o}^{n} \mathbf{I}_{ki} = \sum_{i=o}^{n} \mathbf{y}_{ki}(\mathbf{V}_k - \mathbf{V}_i) \quad \Longrightarrow \quad \mathrm{I} = \mathrm{YV}$$

Matriz admitancia de barras

En forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=1,k\neq 1}^{n} \mathbf{y}_{1k} + \mathbf{y}_{11} & -\mathbf{y}_{12} & \cdots & -\mathbf{y}_{1n} \\ -\mathbf{y}_{21} & \sum_{k=1,k\neq 2}^{n} \mathbf{y}_{2k} + \mathbf{y}_{22} & \cdots & -\mathbf{y}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -\mathbf{y}_{n1} & -\mathbf{y}_{n2} & \cdots & \sum_{k=1,k\neq n}^{n} \mathbf{y}_{nk} + \mathbf{y}_{nn} \end{bmatrix}$$

y_{ii}: Suma de admitancias conectadas a la i-ésima barra.

y_{ik}: Negativo de la admitancia total directamente conectada entre la i-ésima y la k-ésima barra.

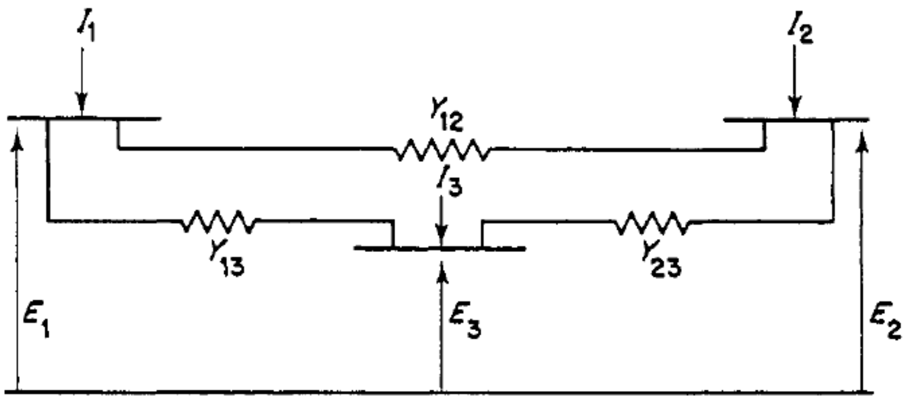
Matriz admitancia de barras

Propiedades de la matriz Y

- ✓ Cuadrada
- ✓ Simétrica
- ✓ A valores complejos
- ✓ Rala

Matriz admitancia de barras

Condicionamiento de la matriz Y

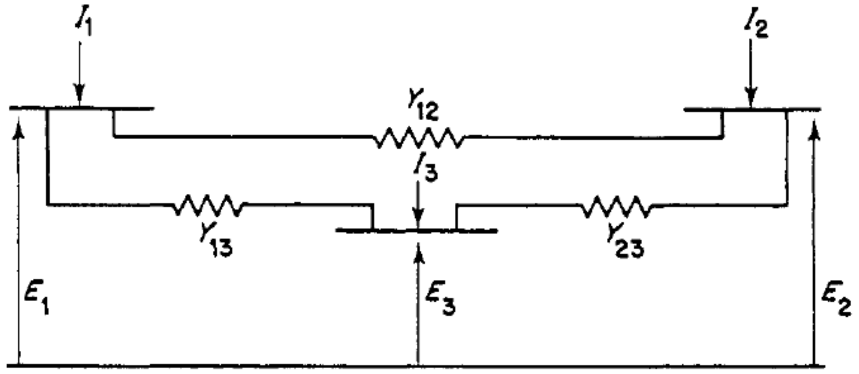


$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{12}+y_{13} & -y_{12} & -y_{13} \\ -y_{12} & y_{12}+y_{23} & -y_{23} \\ -y_{13} & -y_{23} & y_{13}+y_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix}.$$

Supuesto conocidas las corrientes en cada barra, el sistema admite infinitas soluciones, dado que la matriz Y es singular (no es invertible).

Matriz admitancia de barras

Condicionamiento de la matriz Y



Si al menos una de las barras tiene una admitancia shunt (a tierra) el sistema de ecuaciones admite solución teóricamente, pero no necesariamente en la práctica.
Los cálculos en computadora digital no pueden realizarse con precisión absoluta, y durante una secuencia de operaciones aritméticas, los errores de redondeo debidos al hecho de trabajar con un numero finito de decimales se acumulan. Si el problema (la matriz Y) está bien condicionado y el método numérico empleado para hallar la solución es adecuado, los errores de redondeo se mantienen pequeños y no enmascaran los resultados.
Si el problema está mal condicionado, lo cual usualmente depende de las propiedades del sistema de potencia (parámetros y topología), cualquier error computacional se tornará excesivamente grande con respecto a la solución.

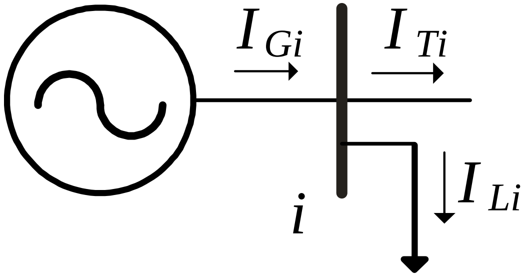
Matriz admitancia de barras

Condicionamiento de la matriz Y

Una red de transmisión con admitancias shunt muy pequeñas en comparación con las admitancias serie, probablemente esté mal condicionada y el condicionamiento tiende a mejorar con el aumento de las admitancias shunt, esto es, con la conexión eléctrica entre las barras y la tierra.

Formulación del problema del FPE

Corrientes en la barra *i*:



Tenemos que:

$$\mathbf{I}_{Gi} = \mathbf{I}_{Ti} + \mathbf{I}_{Li}$$

$$\mathbf{V}_i\mathbf{I}_{Gi}^* = \mathbf{V}_i\mathbf{I}_{Ti}^* + \mathbf{V}_i\mathbf{I}_{Li}^*$$

$$\mathbf{S}_{Gi} = \mathbf{S}_{Ti} + \mathbf{S}_{Li}$$

Formulación del problema del FPE

Cada una de estas potencias se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\mathrm{S_{Gi}} = \mathrm{P_{Gi}} + \mathrm{jQ_{Gi}}$$

$$\mathrm{S_{Ti}} = \mathrm{P_{Ti}} + \mathrm{jQ_{Ti}}$$

$$\mathrm{S_{Li}} = \mathrm{P_{Li}} + \mathrm{jQ_{Li}}$$

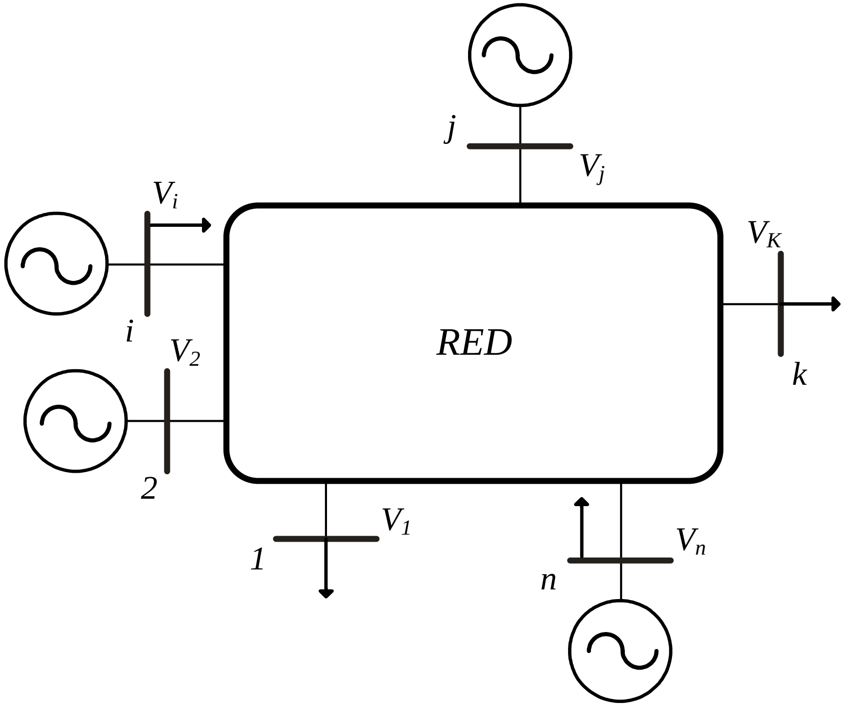
También se puede escribir lo siguiente:

$$P_{Gi} = P_{Ti} + P_{Li}$$

$$Q_{Gi} = Q_{Ti} + Q_{Li}$$

Formulación del problema del FPE

Sistema eléctrico de *n* barras:



$$\mathbf{I}_{Ti} = \mathbf{y}_{i1}\mathbf{V}_1 + \mathbf{y}_{i2}\mathbf{V}_2 + \ldots + \mathbf{y}_{ii}\mathbf{V}_i + \mathbf{y}_{ij}\mathbf{V}_j + \ldots + \mathbf{y}_{in}\mathbf{V}_n$$

Formulación del problema del FPE

$$I_{Ti} = \sum_{j=1}^{n} y_{ij} V_j \angle \delta_j + \gamma_{ij}$$

I_{Ti} : Corriente de la barra *i* que ingresa a la red.

V_j : Tensión de la barra *j*.

y_{ij} : Elemento *i-j* de la matriz de admitancia de barras.

δ_j : Ángulo de la tensión de la barra *j.*

γij : Ángulo del elemento *i-j* de la matriz de admitancia de barras.

$$\bar{\mathbf{I}}_T = [\mathbf{Y}]\bar{\mathbf{V}}$$

I_T : Vector de corrientes que ingresan a la red.

V : Vector de tensiones de las barras del sistema eléctrico.

Y : Matriz de admitancia de barras.

Formulación del problema del FPE

$$S_{Ti} = V_i I_{Ti}^{*} = \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \; V_j \; \angle\,\underline{\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}}$$

$$\begin{cases} P_{Ti} = \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \; V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \\ Q_{Ti} = \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \; V_j \,\mathrm{sen}(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \end{cases}$$

Formulación del problema del FPE

$$\begin{cases} P_{Gi} = P_{Li} + \sum_{j=1}^{n} V_i \, y_{ij} \, V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \\ Q_{Gi} = Q_{Li} + \sum_{j=1}^{n} V_i \, y_{ij} \, V_j \operatorname{sen}(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \end{cases}$$

Parámetros de la red de transmisión → y_{ij}, γ_{ij}

Variables del problema → $P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{Li}, Q_{Li}, V_i, \delta_i$

Formulación del problema del FPE

Tipos de barras

- Tipo 1: barra de carga (barra PQ)
- Tipo 2: barra de generación (barra PV)
- Tipo 3: barra de referencia (barra “slack” , barra “swing ”)

Formulación del problema del FPE

- Variables de control
  - Barra Tipo 1 : (PQ) P - Q son datos
  - Barra Tipo 2 : (PV) P - V son datos
  - Barra Tipo 3 : (referencia) V dato, $\delta = 0$

- Variables de estado
  - Barra Tipo 1 : V - δ
  - Barra Tipo 2 : Q_G - δ
  - Barra Tipo 3 : P_G - Q_G

Formulación del problema del FPE

Tipo de Barra	P_G	Q_G	P_L	Q_L	V	δ
Carga	0	0	Dato	Dato	?	?
Generación	Fijada	?	Dato	Dato	Fijada	?
Referencia	?	?	Dato	Dato	Fijada	0

Métodos Numéricos

- Gauss
- Gauss-Seidel
- Newton – Raphson
- Descomposición LU

Gauss

$$I = YV$$

$$I_i = y_{ii} V_i + \sum_{j, j \neq i} y_{ij} V_j$$

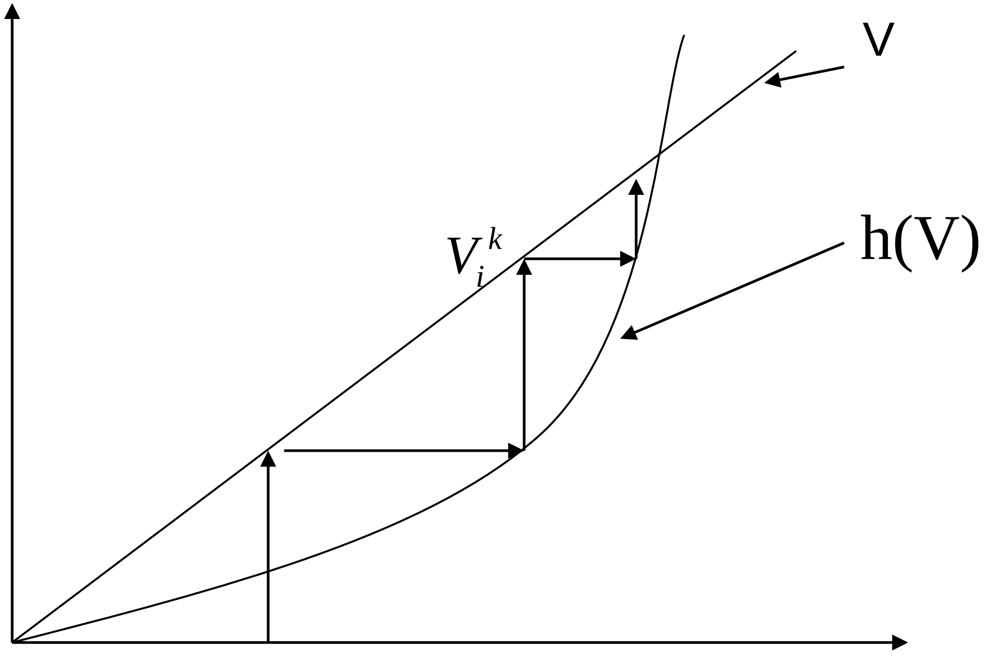
$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left(I_i - \sum_{j, j \neq i} y_{ij} V_j \right)$$

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left(\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{j, j \neq i} y_{ij} V_j \right)$$

Gauss

$$V_i^{k+1} = h(V_i^k)$$

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{y_{ii}}\left(\left(\frac{S_i}{V_i^k}\right)^* - \sum_{j,j\neq i} y_{ij} V_j^{\,k}\right)$$



Gauss

1. Asignar un perfil plano de tensiones inicial
   - V=1 p.u. , ángulo = 0
2. Calcular nuevo perfil de tensiones
3. Si la diferencia de tensiones > error, volver al paso 2, caso contrario, salir del ciclo
4. Calcular pérdidas y flujos en cada línea

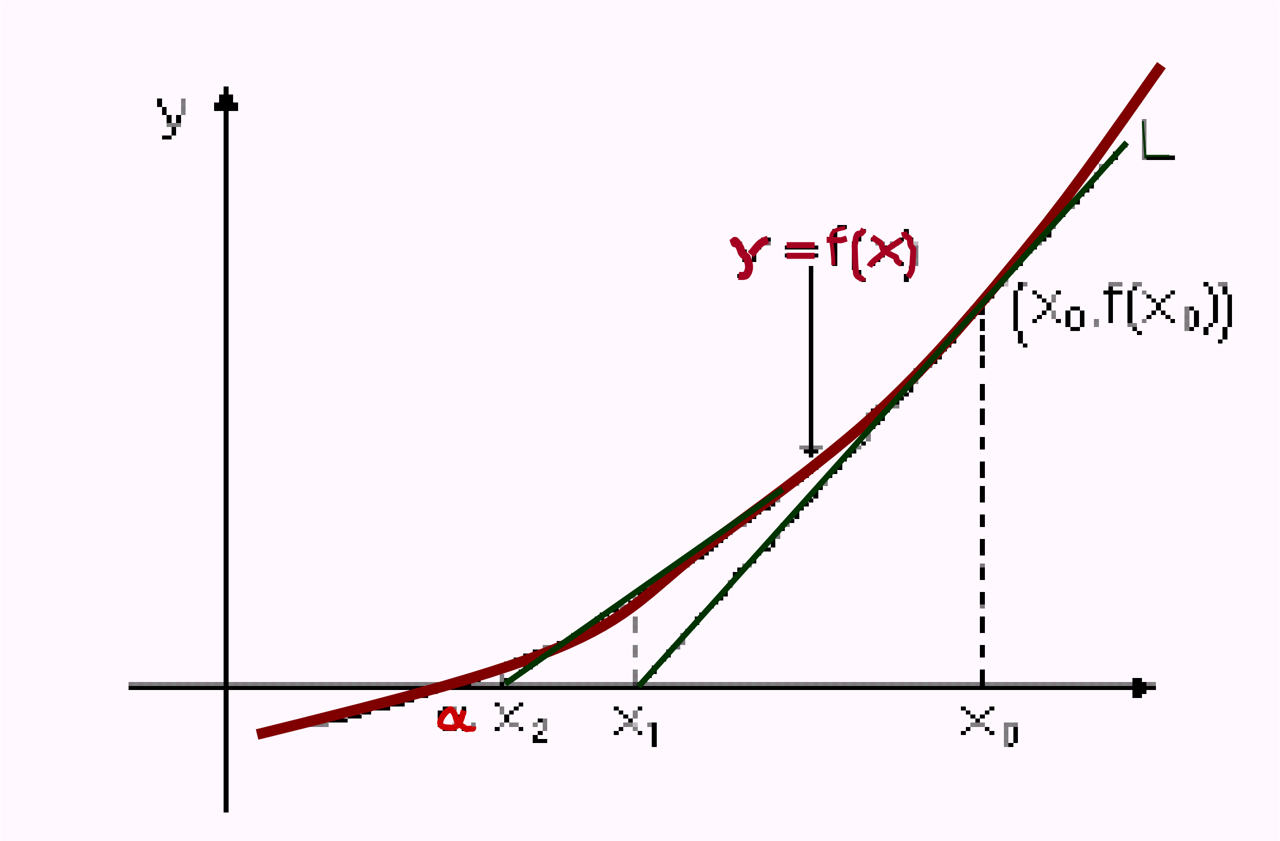
Gauss-Seidel

- Modificación del Método de Gauss
- Utiliza los cálculos ya realizados en el paso k+1

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{y_{ii}}\left(\left(\frac{S_i}{V_i^k}\right)^* - \sum_{j\le i} y_{ij} V_j^{k+1} - \sum_{j>i} y_{ij} V_j^{k}\right)$$

Newton – Raphson

- ✓ Trata con todas las barras simultáneamente
- ✓ Calcula los ceros de una función no lineal: $f(x) = 0$



Newton – Raphson

$$\mathrm{f}(\mathrm{x}) \cong \mathrm{f}(\mathrm{x}_\mathrm{k}) + \mathrm{J}(\mathrm{x}_\mathrm{k})(\mathrm{x} - \mathrm{x}_\mathrm{k}) = 0$$

$$J(x_k)\Delta x_k = -f(x_k)$$

Matriz Jacobiana:

$$J(x_k) = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_1} & \cdots & \dfrac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \dfrac{\partial f_n(x_k)}{\partial x_1} & \cdots & \dfrac{\partial f_n(x_k)}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Newton – Raphson

$$\begin{cases} P_{Ti} = \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \; V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \\ Q_{Ti} = \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \; V_j \, \mathrm{sen}(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \end{cases}$$

$$\overline{\mathbf{P}}_G - \overline{\mathbf{P}}_L - \overline{\mathbf{P}}_T(\overline{\boldsymbol{\delta}}, \overline{\mathbf{V}}) = \overline{\mathbf{0}}$$

$$\overline{\mathbf{Q}}_G - \overline{\mathbf{Q}}_L - \overline{\mathbf{Q}}_T(\overline{\boldsymbol{\delta}}, \overline{\mathbf{V}}) = \overline{\mathbf{0}}$$

Newton – Raphson

$$\overline{\Delta P_T} = \overline{P_T}(\overline{\delta}, \overline{V}) - \overline{P_T}(\overline{\delta_o}, \overline{V_o})$$

$$\overline{\Delta Q_T} = \overline{Q_T}(\overline{\delta}, \overline{V}) - \overline{Q_T}(\overline{\delta_o}, \overline{V_o})$$

$$\overline{\Delta \delta} = \overline{\delta} - \overline{\delta_0}$$

$$\overline{\Delta V} = \overline{V} - \overline{V_0}$$

Newton – Raphson

$$\begin{cases} \overline{\Delta P_T} = \dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}} \overline{\Delta \delta} + \dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{V}} \overline{\Delta V} \\ \overline{\Delta Q_T} = \dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{\delta}} \overline{\Delta \delta} + \dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}} \overline{\Delta V} \end{cases}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}} & \dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{V}} \\ \dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{\delta}} & \dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}} \end{bmatrix}}_{J} \begin{bmatrix} \overline{\Delta \delta} \\ \overline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\Delta P_T} \\ \overline{\Delta Q_T} \end{bmatrix}$$

Cada una de las submatrices del Jacobiano hereda de la matriz de admitancias de barras su condición de matriz rala

Newton – Raphson

$$
\begin{bmatrix}
\frac{\partial P_{T1}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial P_{T1}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_{T1}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial P_{T1}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{T1}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial P_{T1}}{\partial V_i} & \frac{\partial P_{T1}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial P_{T1}}{\partial V_n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_i} & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_n} \\
\frac{\partial P_{Tj}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial V_i} & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Tj}}{\partial V_n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\frac{\partial P_{Tn}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial V_i} & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial P_{Tn}}{\partial V_n} \\
\frac{\partial Q_{T1}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial V_i} & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{T1}}{\partial V_n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_i} & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_n} \\
\frac{\partial Q_{Tj}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial V_i} & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tj}}{\partial V_n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\frac{\partial Q_{Tn}}{\partial \delta_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial \delta_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial V_i} & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial V_j} & \cdots & \frac{\partial Q_{Tn}}{\partial V_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta\delta_1 \\ \vdots \\ \Delta\delta_i \\ \Delta\delta_j \\ \vdots \\ \Delta\delta_n \\ \Delta V_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta V_i \\ \Delta V_j \\ \vdots \\ \Delta V_n
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\Delta P_{T1} \\ \vdots \\ \Delta P_{Ti} \\ \Delta P_{Tj} \\ \vdots \\ \Delta P_{Tn} \\ \Delta Q_{T1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta Q_{Ti} \\ \Delta Q_{Tj} \\ \vdots \\ \Delta Q_{Tn}
\end{bmatrix}
$$

Newton – Raphson

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j} = V_i \, V_j \, Y_{ij} \; sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} V_i \, V_j \, Y_{ij} \; sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_j} = V_i \;\; Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_i} = V_i \;\; Y_{ii} \cos\left(\gamma_{ii}\right) + \sum_{j=1}^{n} V_j \;\; Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

Newton – Raphson

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} V_i V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \, sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_i} = V_i Y_{ii} \, sen\left(-\gamma_{ii}\right) + \sum_{j=1}^{n} V_j Y_{ij} \, sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right)$$

Newton – Raphson

$$\overline{\delta^{k+1}} = \bar{\delta}^{k} + \Delta\overline{\delta^{k+1}}$$

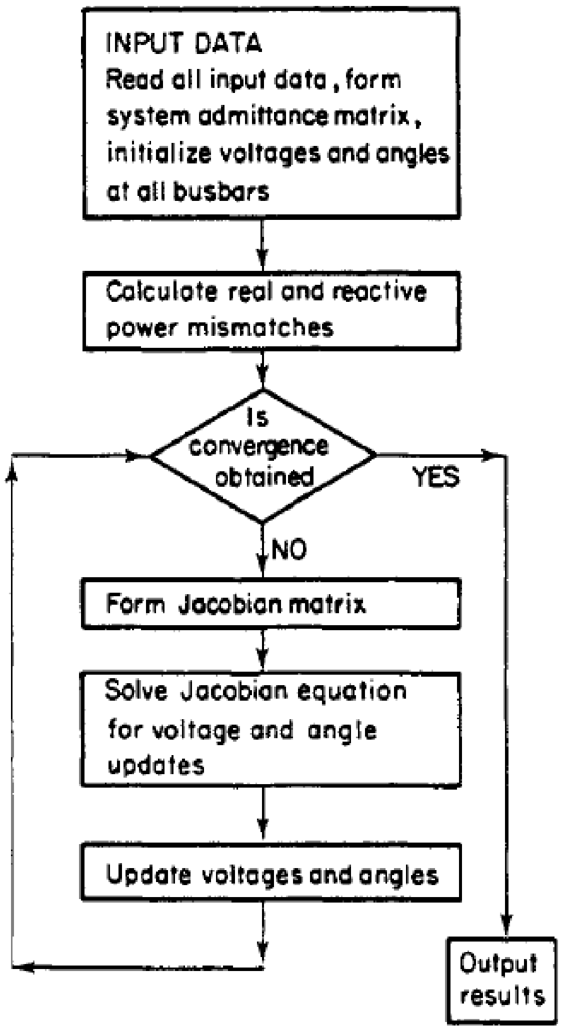
$$\overline{V^{k+1}} = \overline{V^{k}} + \Delta\overline{V^{k+1}}$$

$$Q_{Gi} = Q_{Li} + \sum_{j=1}^{n} V_i \; y_{ij} \, V_j \; sen(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij})$$

$$Q_{Gi}^{Min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{Max}$$

Newton – Raphson

1. Asignar un perfil de tensiones inicial
   - V=1 p.u., ángulo = 0
2. Calcular el nuevo perfil de tensiones
3. Si max Δ P > error ó max Δ Q > error volver a paso 2
4. Calcular flujos en líneas y pérdidas



Algoritmos para la solución del FPE

- Completo (flujo AC)
- Desacoplado
- Desacoplado rápido
- Lineal (flujo DC)

Flujo desacoplado

Una característica inherente de cualquier sistema de transmisión en alta tensión real operando en una condición de régimen permanente es la fuerte interdependencia entre el flujo de potencia activa y los ángulos de fase de las tensiones de barras, y entre el flujo de potencia reactiva y el módulo de las tensiones de barras.

Correspondientemente, el acoplamiento entre los lazos $P – \delta$, y $Q – V$ es relativamente débil.

Flujo desacoplado

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_k} >> \frac{\partial P_i}{\partial V_k} \Rightarrow \frac{\partial P_i}{\partial V_k} \cong 0$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} >> \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} \Rightarrow \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} \cong 0$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}} & \frac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{V}} \\ \frac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{\delta}} & \frac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}} & 0 \\ 0 & \frac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}} \end{bmatrix}$$

Flujo desacoplado

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}} & 0 \\ 0 & \dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{\Delta\delta} \\ \overline{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\Delta P_T} \\ \overline{\Delta Q_T} \end{bmatrix}$$

Flujo de potencia activa → $\left[\dfrac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}}\right]\left[\overline{\Delta\delta}\right] = \left[\overline{\Delta P_T}\right]$

Flujo de potencia reactiva → $\left[\dfrac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}}\right]\left[\overline{\Delta V}\right] = \left[\overline{\Delta Q_T}\right]$

Flujo desacoplado

$$\left[\frac{\partial \bar{P}_T}{\partial \bar{\delta}}\right]$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j} = V_i\, V_j\, Y_{ij}\, \mathrm{sen}\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right) = V_i\, V_j\, Y_{ij}\, \left\{\mathrm{sen}\left(\delta_i - \delta_j\right)\cos(\gamma_{ij}) - \cos(\delta_i - \delta_j)\mathrm{sen}(\gamma_{ij})\right\} =$$

$$= V_i\, V_j\, \left\{G_{ij}\mathrm{sen}\left(\delta_i - \delta_j\right) - B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j)\right\}; \qquad \text{para} \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} V_i\, V_j\, Y_{ij}\, \mathrm{sen}\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right) = -(Q_{Gi} - Q_{Li}) - V_i^2 B_{ii}$$

$$Q_{Gi} = Q_{Li} + \sum_{j=1}^{n} V_i\; y_{ij}\, V_j\; sen(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij})$$

Flujo desacoplado

$$\left[\frac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}}\right]$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_j} = V_i \; Y_{ij}\, sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right) = \frac{V_i V_j \; Y_{ij}}{V_j} sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right) =$$

$$= \frac{V_i V_j}{V_j}\left\{G_{ij} sen\left(\delta_i - \delta_j\right) - B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j)\right\}; \qquad para \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_i} = V_i \; Y_{ii}\, sen\left(-\gamma_{ii}\right) + \sum_{j=1}^{n} V_j \; Y_{ij}\, sen\left(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}\right) =$$

$$= -B_{ii}\frac{V_i^2}{V_i} + \frac{(Q_{Gi} - Q_{Li})}{V_i}$$

Flujo desacoplado

Flujo de potencia activa

$$\left[\frac{\partial \overline{P}_T}{\partial \overline{\delta}}\right]\left[\overline{\Delta\delta}\right]=\left[\overline{\Delta P}_T\right]$$

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j}=\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_j}; \qquad \text{para} \quad i \neq j$$

Flujo de potencia reactiva

$$\frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_i}=-B_{ii}V_i^2-(Q_{Gi}-Q_{Li})$$

$$\left[\frac{\partial \overline{Q}_T}{\partial \overline{V}}\right]\left[\frac{\overline{\Delta V}}{\overline{V}}\right]=\left[\overline{\Delta Q}_T\right]$$

$$\frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_i}=-B_{ii}V_i^2+(Q_{Gi}-Q_{Li})$$

Flujo desacoplado rápido

Posteriores simplificaciones al Flujo de Potencia desacoplado, basadas en propiedades físicas de los sistemas de transmisión en alta tensión reales, hacen que los Jacobianos sean constantes.

$$\delta_i - \delta_j \approx 0 \quad \Rightarrow \quad \cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1, \quad \operatorname{sen}(\delta_i - \delta_j) \approx 0$$

$$\Rightarrow \quad G_{ij}\operatorname{sen}(\delta_i - \delta_j) \quad << \quad B_{ij}\cos(\delta_i - \delta_j)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j} = \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial V_j} \cong V_i V_j(-B_{ij}) \qquad \text{para} \quad i \neq j$$

Flujo desacoplado rápido

$$(Q_{Gi} - Q_{Li}) = Q_{Ti} \quad << \quad V_i^2 B_{ii}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_{Ti} - B_{ii} V_i^2 \cong -B_{ii} V_i^2$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = Q_{Ti} - B_{ii} V_i^2 \cong -B_{ii} V_i^2$$

Flujo desacoplado rápido

Flujo de potencia activa → $\left[\overline{V}\,B'\,\overline{V}\right]\left[\overline{\Delta\delta}\right]=\left[\overline{\Delta P_T}\right]$

Flujo de potencia reactiva → $\left[\overline{V}\,B''\,\overline{V}\right]\left[\dfrac{\overline{\Delta V}}{\overline{\overline{V}}}\right]=\left[\overline{\Delta Q_T}\right]$

Flujo desacoplado rápido

$$r_{ik} << x_{ik}$$

Omitimos el equipamiento que afecta el flujo de potencia reactiva

$$[B'][\overline{\Delta\delta}] = \left[\frac{\overline{\Delta P_T}}{\overline{V}}\right]$$

$$b'_{ik} = \frac{1}{x_{ik}}$$

$$b'_{ii} = \sum_k \frac{1}{x_{ik}}$$

Flujo desacoplado rápido

Omitimos el equipamiento que afecta el flujo de potencia activa

$$\left[B''\right]\left[\overline{\Delta V}\right] = \left[\frac{\overline{\Delta Q_T}}{\overline{V}}\right]$$

$$b''_{ik} = \frac{x_{ik}}{r_{ik}^2 + x_{ik}^2}$$

$$b''_{ii} = \sum_k \frac{x_{ik}}{r_{ik}^2 + x_{ik}^2}$$

Flujo desacoplado rápido

Flujo de potencia activa → $$\left[B'\right]\left[\overline{\Delta\delta}\right] = \left[\frac{\overline{\Delta P_T}}{\overline{V}}\right]$$

Flujo de potencia reactiva → $$\left[B''\right]\left[\overline{\Delta V}\right] = \left[\frac{\overline{\Delta Q_T}}{\overline{V}}\right]$$

Flujo desacoplado rápido

El método originalmente propuesto por:

✓ *B. Stott and O. Alsac "Fast Decoupled Load Flow " IEEE Trans. PAS, Vol. 93, pp. 859-869, May./June 1974.*

despreciando los efectos de la resistencia serie en B' se denomina ***esquema XB.***

El método propuesto posteriormente por:

✓ *R. Van Amerongen "A General-Purpose Version of the Fast Decoupled Load Flow " IEEE Trans., Vol. PWRS-4, pp. 760-770, May. 1989.*

despreciando los efectos de la resistencia serie en B'' se denomina ***esquema BX.***

Flujo lineal (Flujo DC)

Resistencias = 0; y omitimos el flujo de potencia reactiva (V=1)

$$\left[B'\right]\left[\overline{\Delta\delta}\right]=\left[\overline{\Delta P}_T\right]$$

$$P_{ij}=\frac{1}{x_{ij}}\left(\delta_i-\delta_j\right)$$

Comparación

- Gauss-Seidel

  - Tolerante a errores en los datos
  - Fácil de detectar áreas que causan problemas
  - Número de iteraciones se incrementa con tamaño de la red
  - Muy útil cuando el perfil inicial es desconocido

Comparación

- Newton – Raphson

  - Converge cuadráticamente si las funciones son continuamente diferenciables, la matriz J no singular y la aproximación inicial esta cerca de la solución.

  - No tolera errores en los datos

  - Los valores iniciales de perfiles de tensión deben ser próximos a la solución

  - Número de operaciones del orden de $n^3/3$ por iteración

Comparación

- Newton-Raphson desacoplado.

  - Disminuye el tiempo de cálculo a una cuarta parte del tiempo requerido para el Newton-Raphson completo.

$$\frac{2\,\dfrac{(n/2)^3}{3}}{n^3/3} = \frac{1}{4}$$

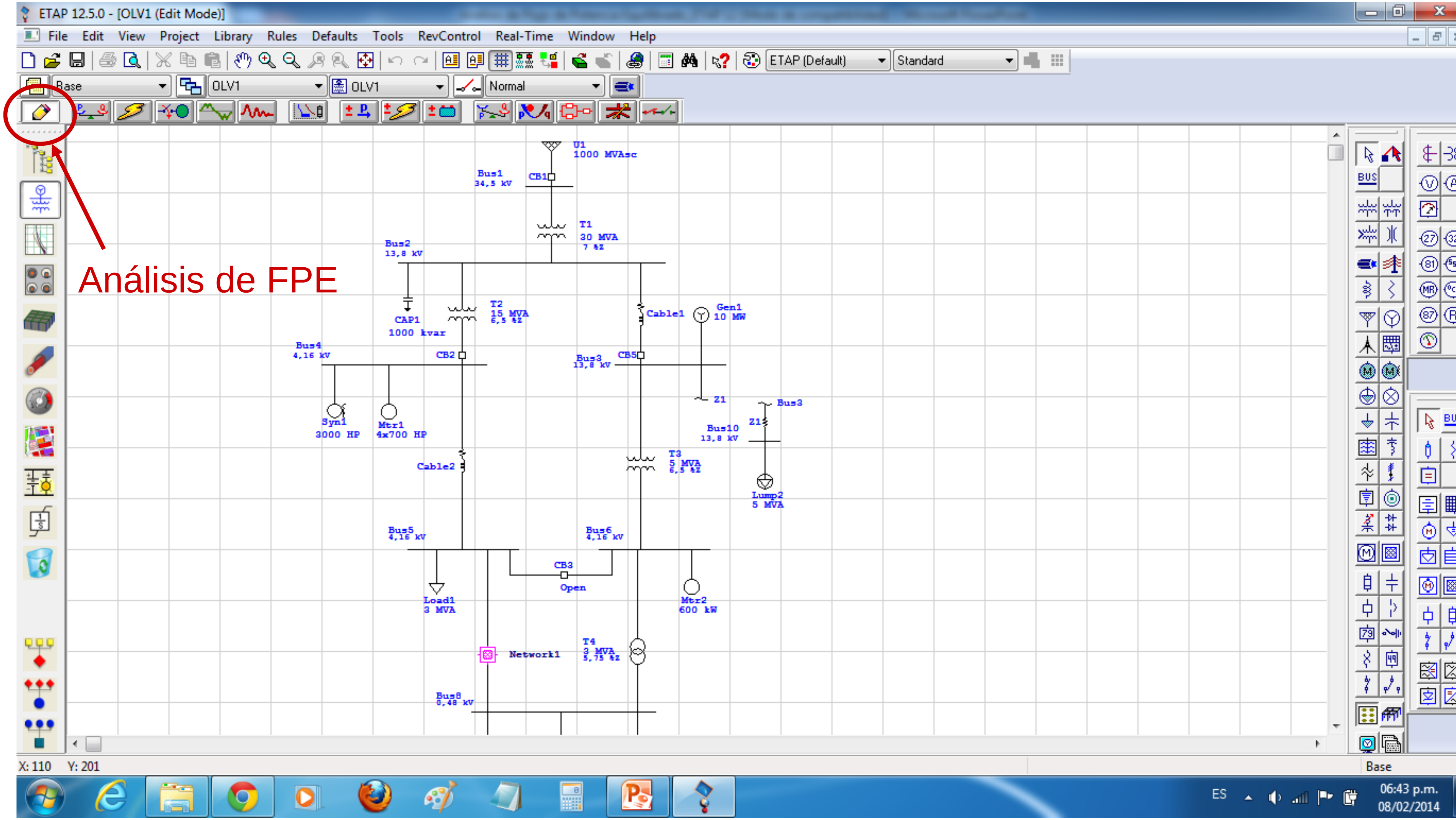
  - No presenta grandes diferencias de convergencia con respecto al Newton-Raphson completo.

  - Las ventajas del método se producen a costa de una pérdida de precisión en los resultados pero generalmente la diferencia es muy pequeña.

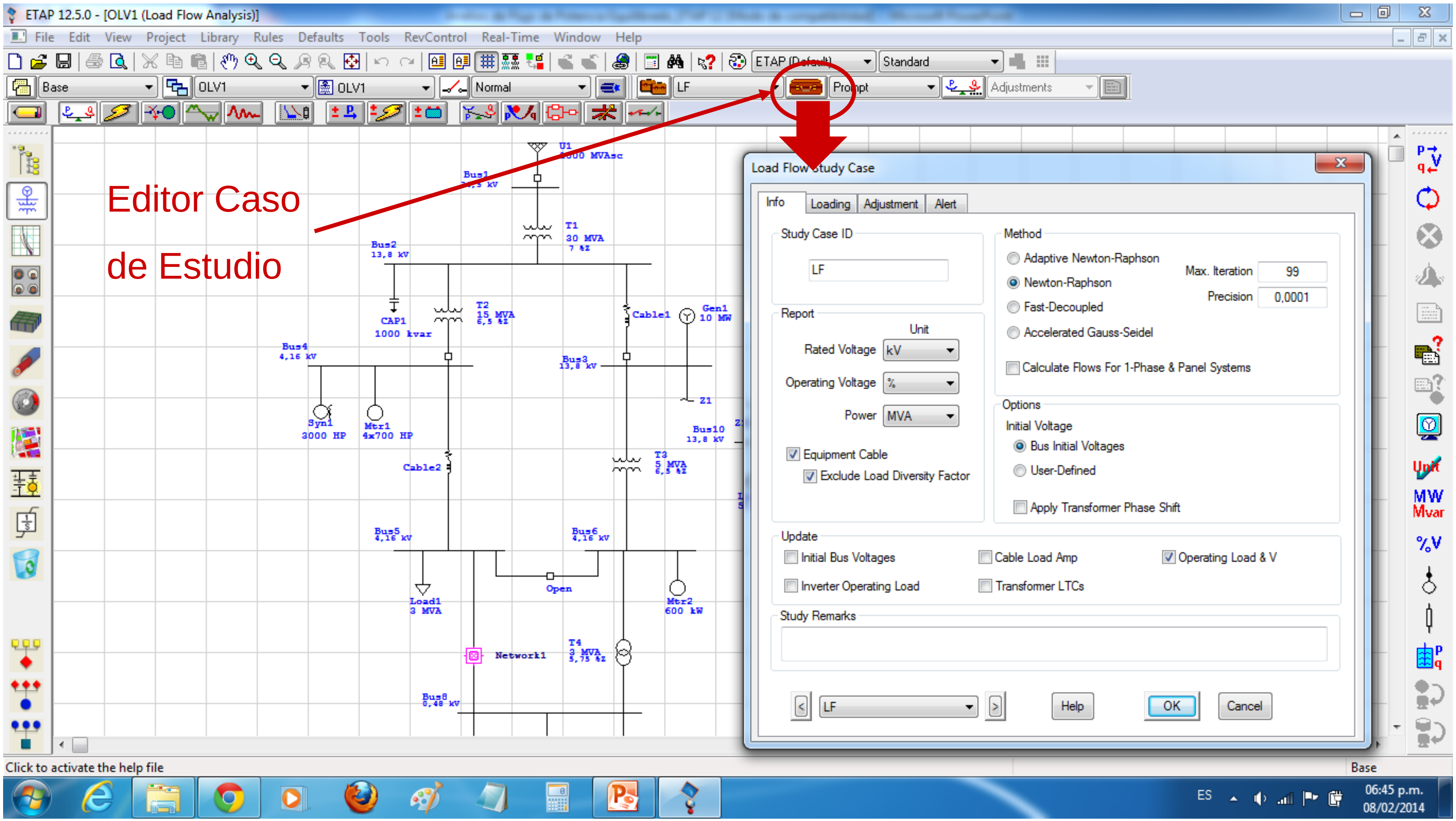
Comparación

- Newton-Raphson desacoplado rápido.
  - Simplificaciones al flujo desacoplado originadas fundamentalmente en las características de la red de transmisión en alta tensión.
  - Disminuye notoriamente los tiempos de cálculo (Jacobiano constante).

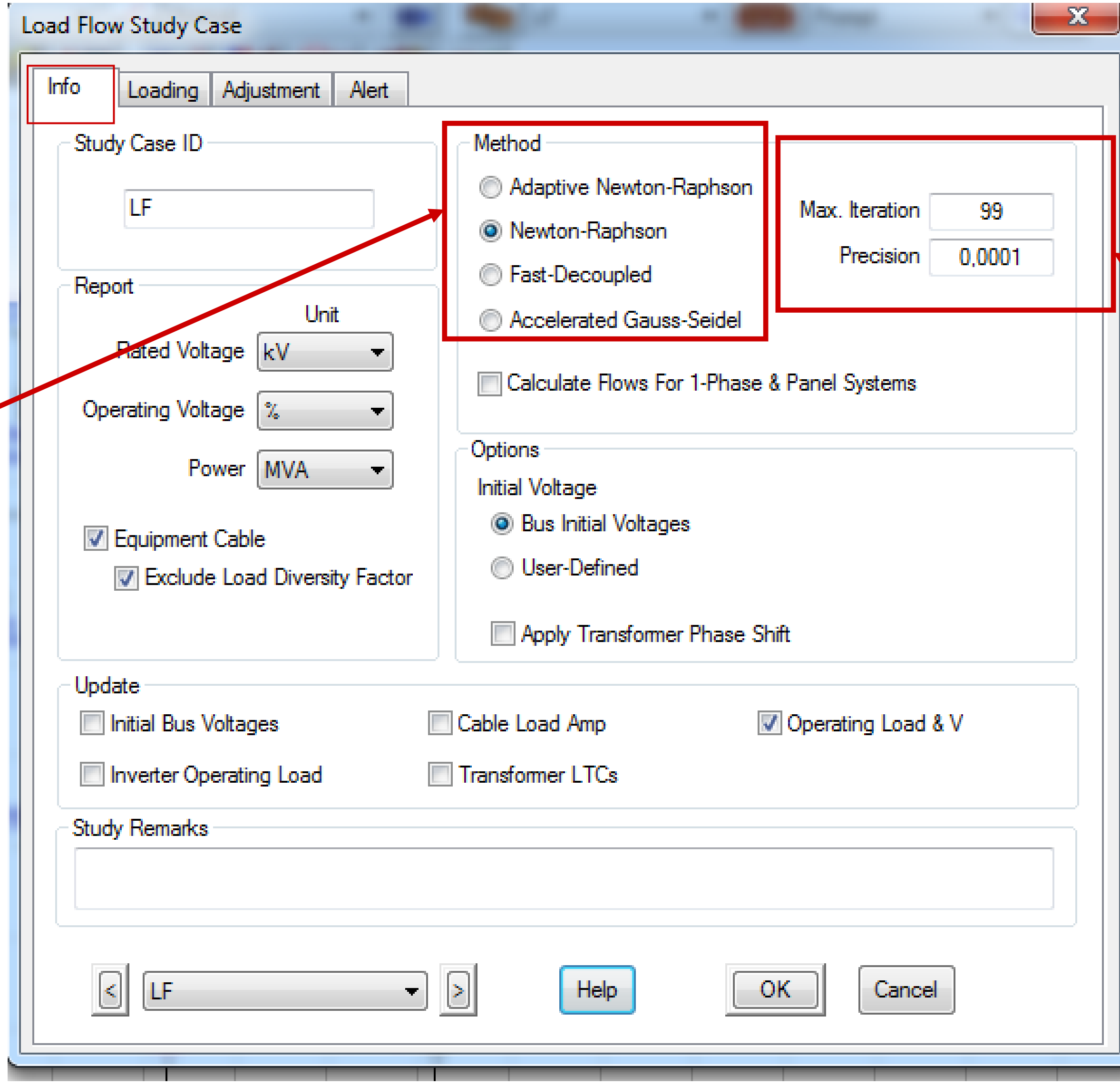
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



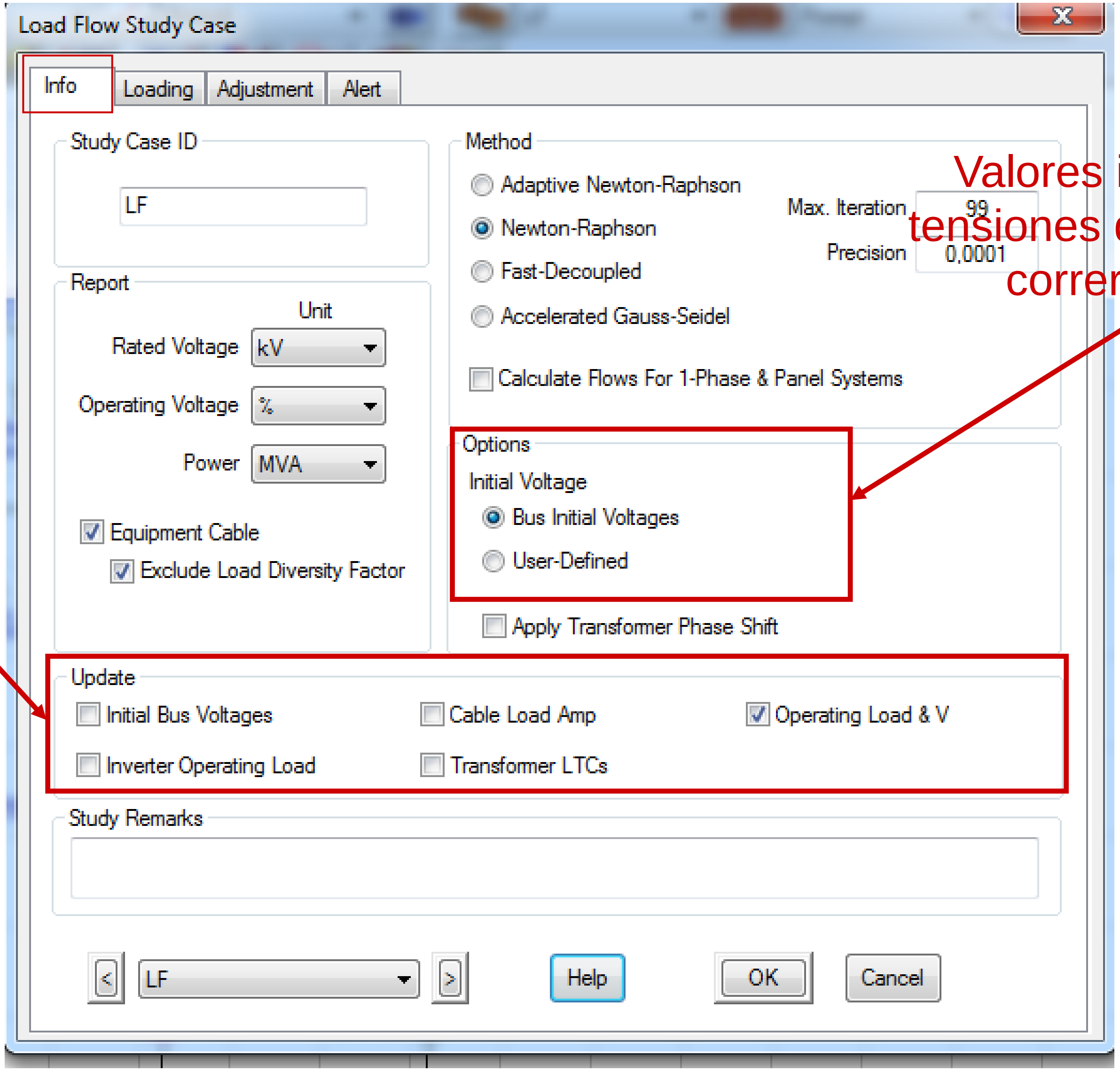
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Algoritmo para resolver un FPE

"Cierre" del algoritmo iterativo FPE

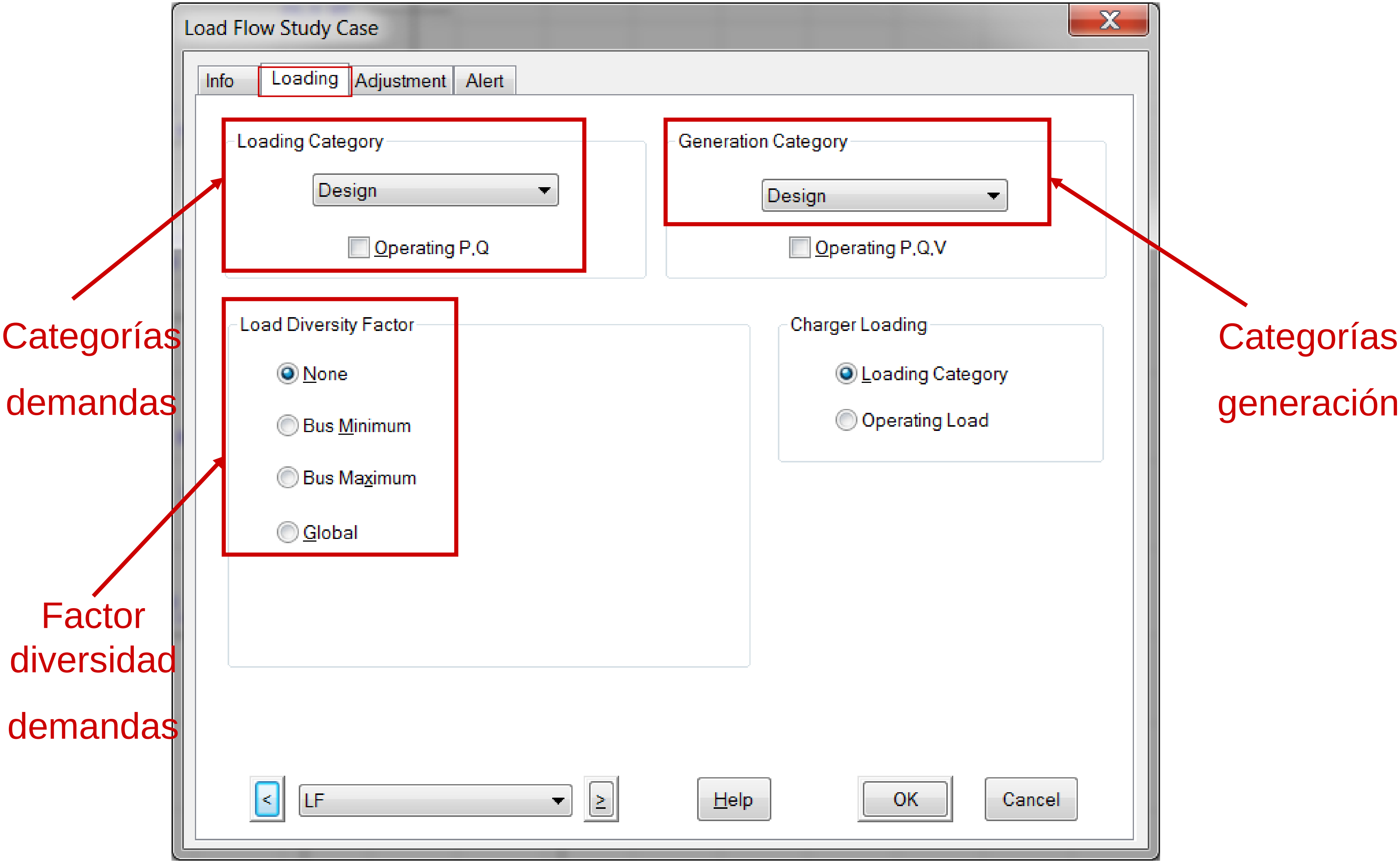
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Valores iniciales de tensiones de barra para correr un FPE

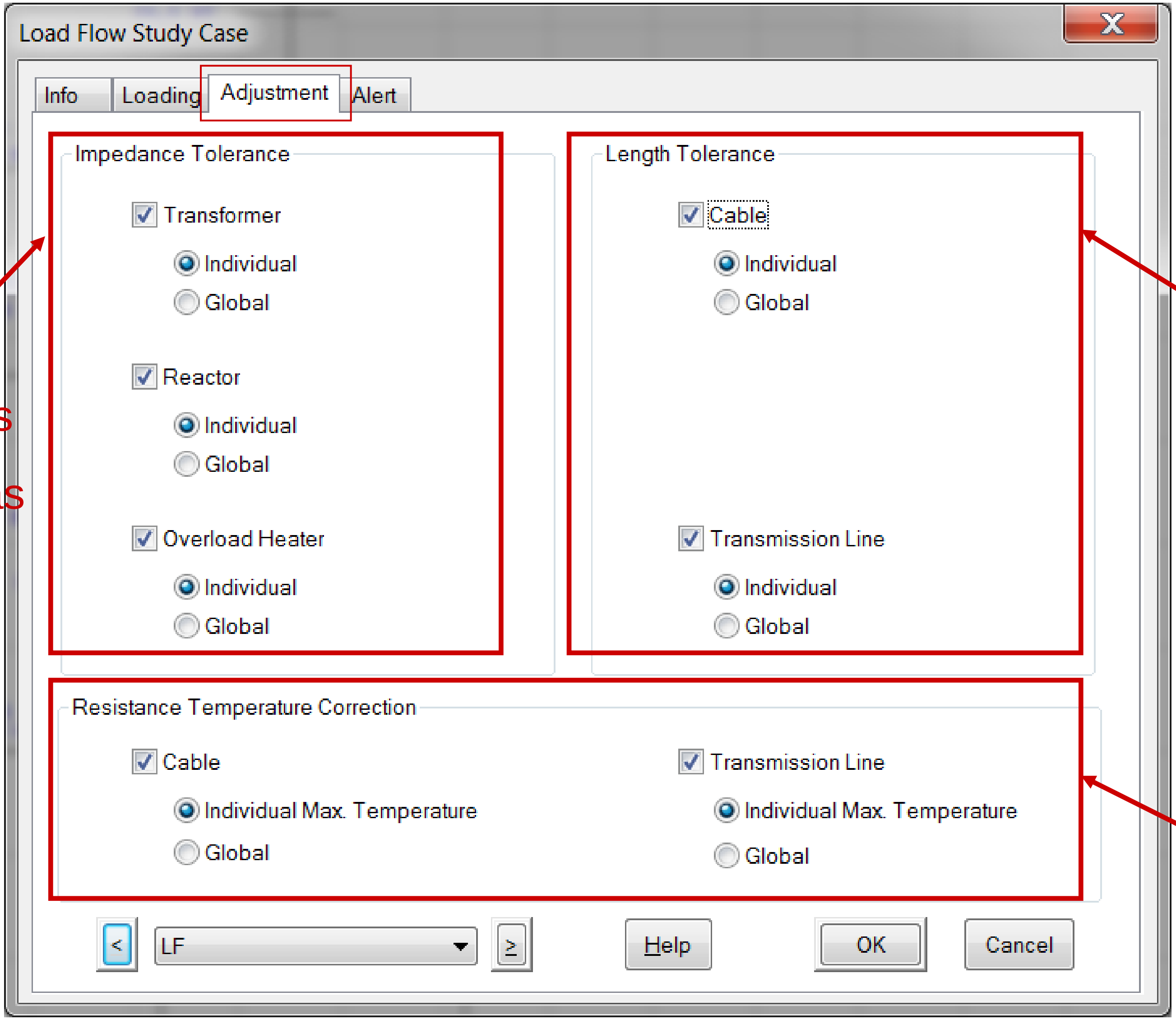
Actualizaciones al correr un FPE

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

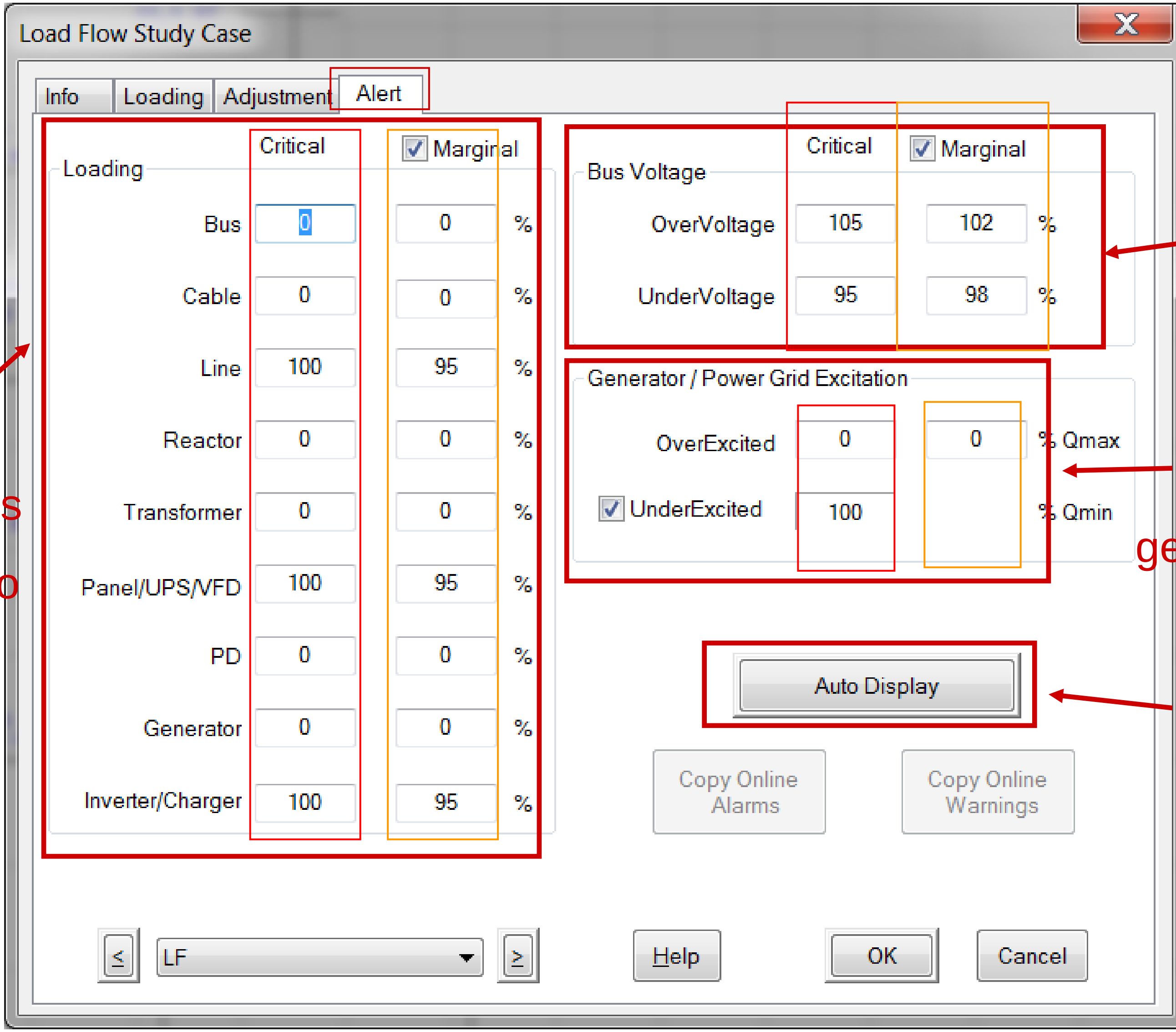
Tolerancias impedancias



Tolerancias longitud

Corrección resistencias por temperatura

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Alarmas barras

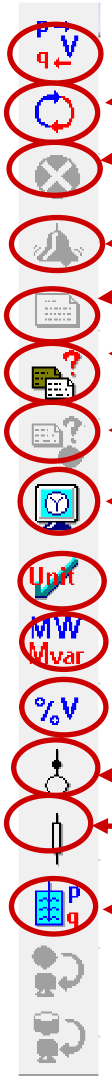
Solicitaciones equipamiento

Alarmas excitación generador/Red

Presentación automática de informe alarmas

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

Barra de herramientas del FPE:



Ejecuta un FPE

Activa/desactiva ejecución automática del FPE

Detiene la ejecución del FPE

Visualización de Alarmas FPE

Administrador de Informes FPE

Analizador de resultados FPE

Comparador de resultados FPE

Opciones de presentación de resultados del FPE en el unifilar

Activa/desactiva visualización unidades diagrama unifilar

Configura magnitudes de flujo en diagrama unifilar

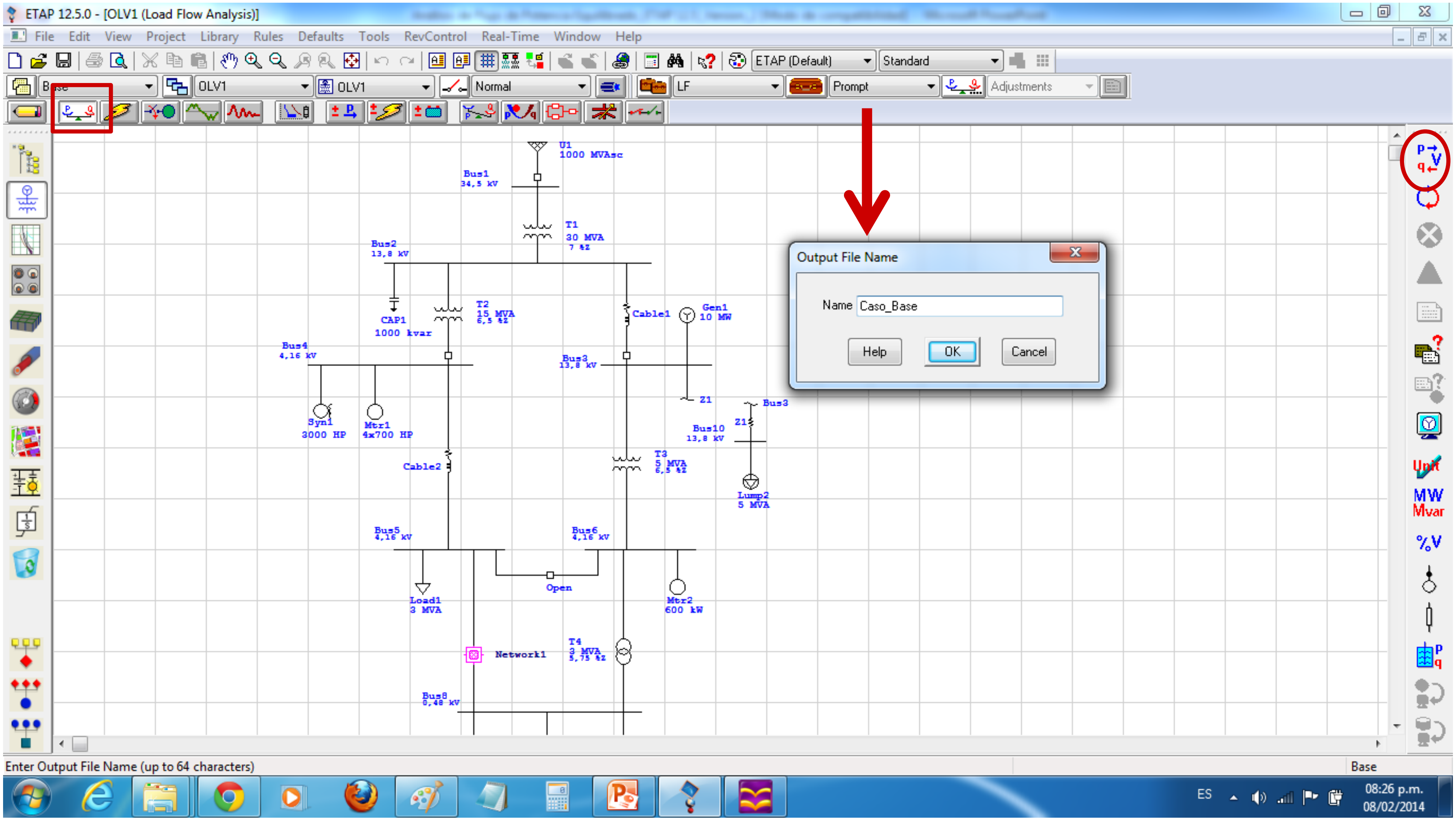
Configura magnitudes de tensión en diagrama unifilar

Activa/desactiva visualización tensión en bornes de carga

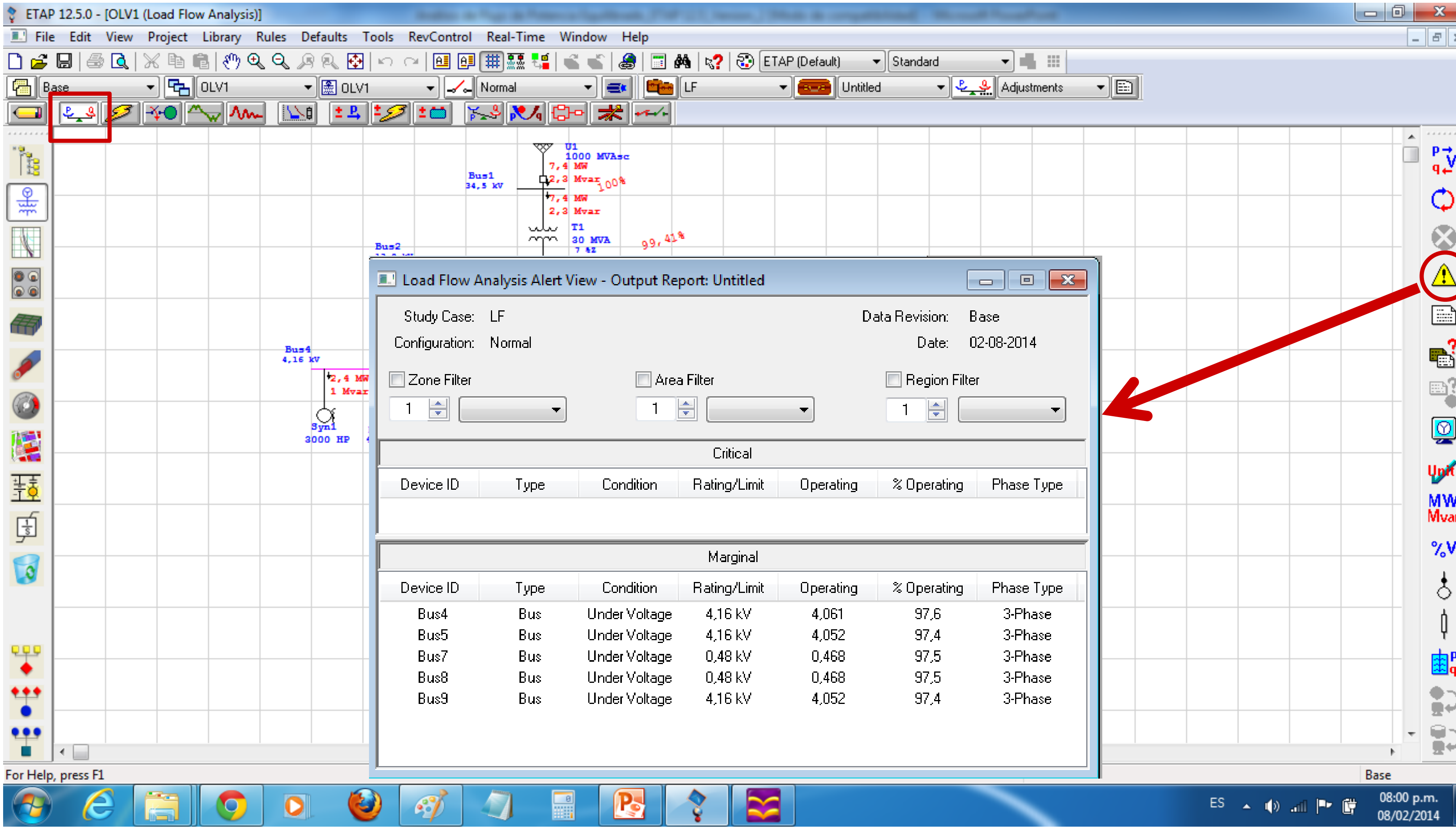
Activa/desactiva visualización caída de tensión en líneas y cables

Activa/desactiva visualización flujo en tableros y UPS

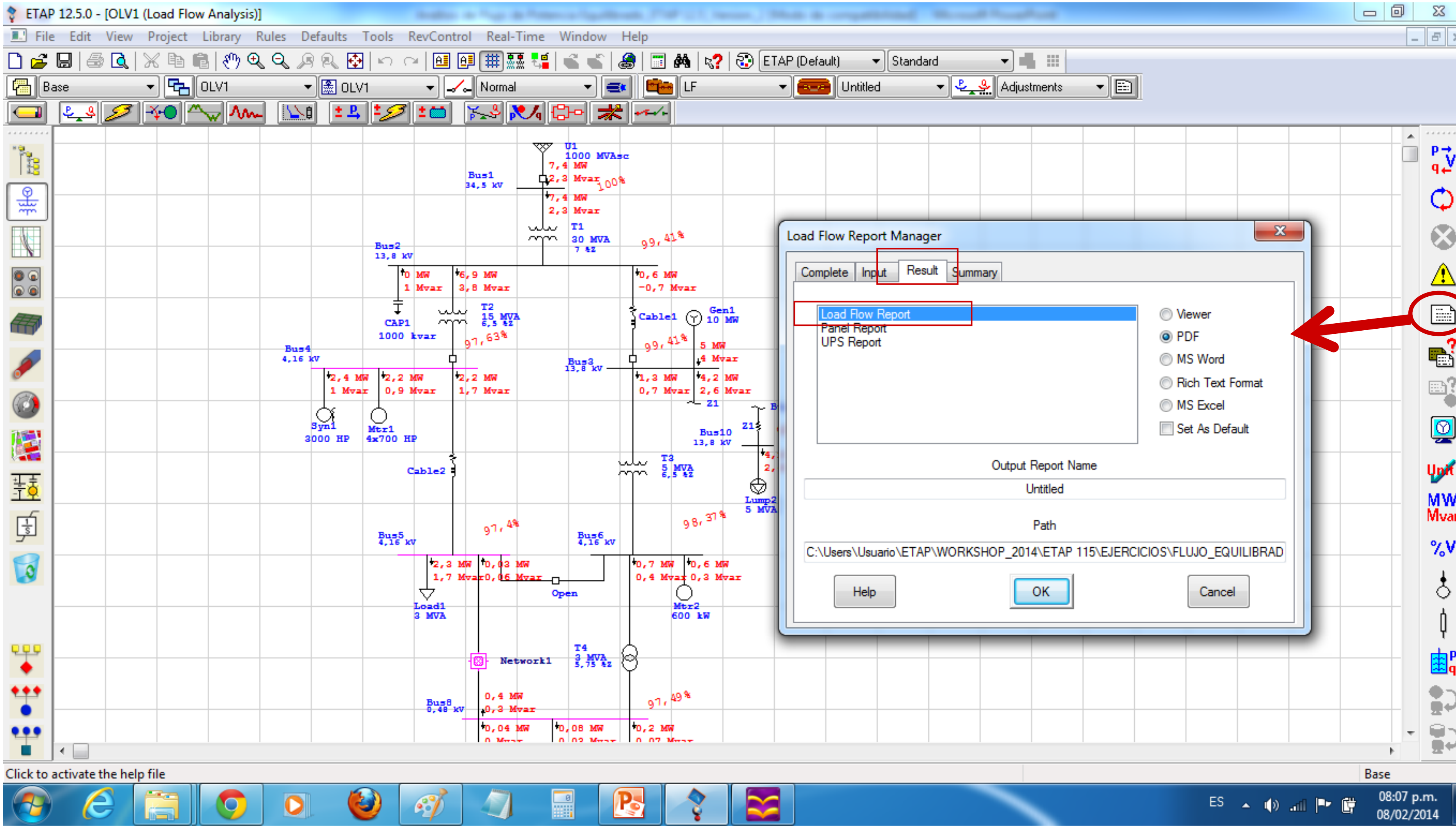
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

Project:	Flujo de Potencia Equilibrado	ETAP 12.5.0D		Page:	1
Location:	ARGENTINA			Date:	02-08-2014
Contract:	Curso de Capacitacion ETAP			SN:	RAIENDLRCL
Engineer:	Diego Moitre	Study Case:	LF	Revision:	Base
Filename:	Ejercicio 1 FPE ANSI			Config.:	Normal

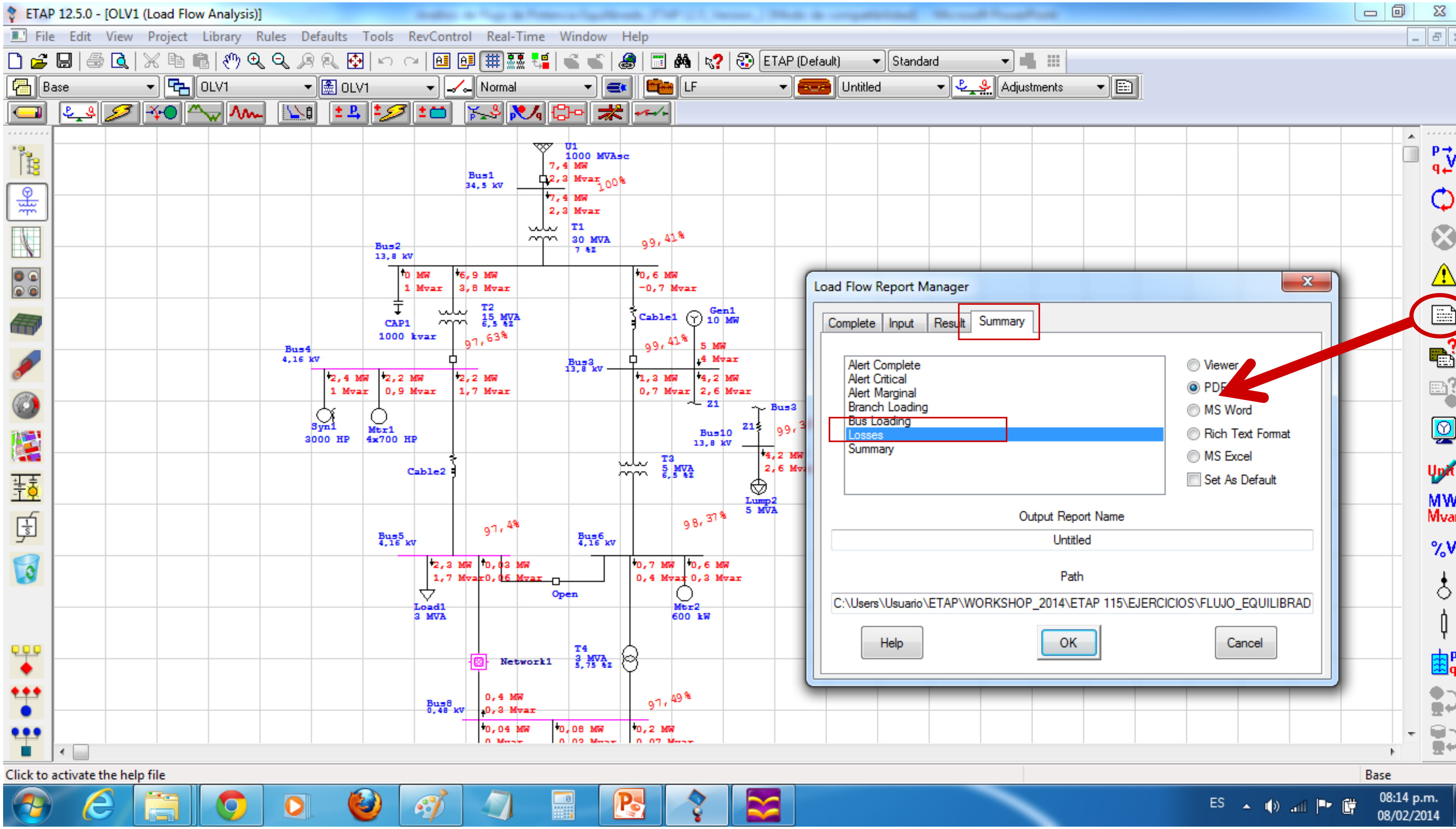
LOAD FLOW REPORT

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
* Bus1	34.500	100.000	0.0	7.443	2.286	0	0	Bus2	7.443	2.286	130.3	95.6	
Bus2	13.800	99.409	-1.0	0	0	0.000	-0.988	Bus3	0.563	-0.684	37.3	-63.5	
								Bus1	-7.437	-2.145	325.7	96.1	
								Bus4	6.874	3.817	330.9	87.4	
Bus3	13.800	99.408	-1.0	5.000	4.000	0	0	Bus2	-0.563	0.684	37.3	-63.5	
								Bus10	4.224	2.620	209.2	85.0	
								Bus6	1.339	0.695	63.5	88.7	
Bus4	4.160	97.629	-2.7	0	0	4.612	1.890	Bus5	2.248	1.657	396.9	80.5	
								Bus2	-6.860	-3.547	1097.8	88.8	
Bus5	4.160	97.405	-2.7	0	0	2.277	1.708	Bus4	-2.244	-1.651	396.9	80.5	
								Bus9	-0.033	-0.057	9.4	50.3	
Bus6	4.160	98.372	-2.0	0	0	0.643	0.271	Bus3	-1.336	-0.665	210.6	89.5	
								Bus8	0.693	0.395	112.5	86.9	
Bus7	0.480	97.489	-2.7	0	0	0.380	0.222	Bus9	0.033	0.057	81.1	50.3	
								Bus8	-0.414	-0.278	615.0	83.0	
Bus8	0.480	97.489	-2.7	0	0	0.279	0.104	Bus6	-0.692	-0.382	975.4	87.5	
								Bus7	0.414	0.278	615.0	83.0	
Bus9	4.160	97.407	-2.7	0	0	0	0	Bus5	0.033	0.057	9.4	50.3	
								Bus7	-0.033	-0.057	9.4	50.3	
Bus10	13.800	99.381	-1.0	0	0	4.224	2.618	Bus3	-4.224	-2.618	209.2	85.0	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)

# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



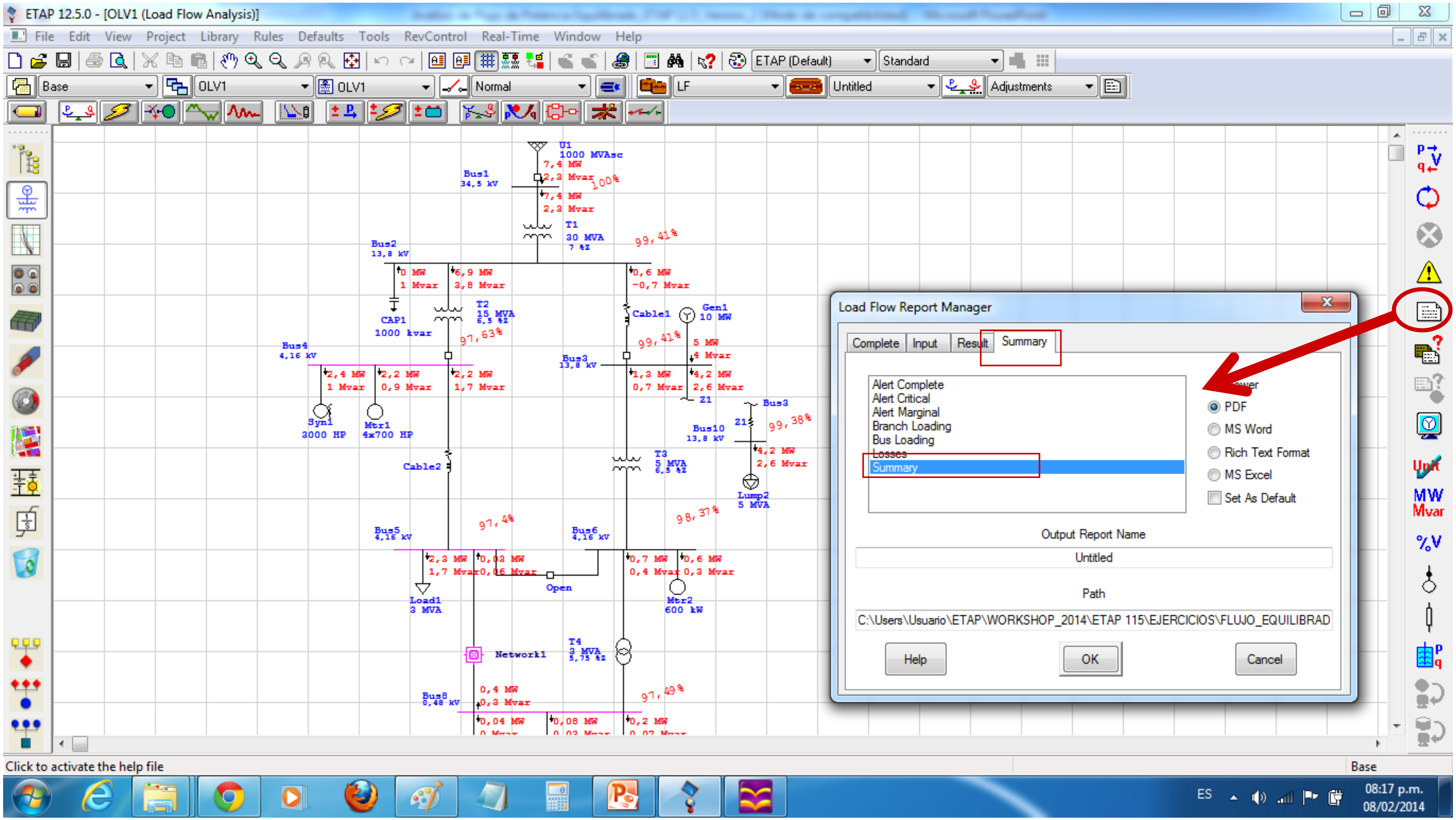
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

Project:	Flujo de Potencia Equilibrado	**ETAP** 12.5.0D	Page:	1
Location:	ARGENTINA		Date:	02-08-2014
Contract:	Curso de Capacitacion ETAP		SN:	RAIENDLRCL
Engineer:	Diego Moitre	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Ejercicio 1 FPE ANSI		Config.:	Normal

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	in Vmag
T1	7.443	2.286	-7.437	-2.145	6.0	141.3	100.0	99.4	0.59
Cable1	0.563	-0.684	-0.563	0.684	0.1	0.1	99.4	99.4	0.00
T2	6.874	3.817	-6.860	-3.547	14.6	270.7	99.4	97.6	1.78
Z1	4.224	2.620	-4.224	-2.618	0.0	2.5	99.4	99.4	0.03
T3	1.339	0.695	-1.336	-0.665	2.5	29.8	99.4	98.4	1.04
Cable2	2.248	1.657	-2.244	-1.651	3.8	5.7	97.6	97.4	0.22
Cable3	-0.033	-0.057	0.033	0.057	0.0	0.0	97.4	97.4	0.00
T4	0.693	0.395	-0.692	-0.382	1.2	12.5	98.4	97.5	0.88
T5	0.033	0.057	-0.033	-0.057	0.0	0.1	97.5	97.4	0.08
					28.1	462.7			

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



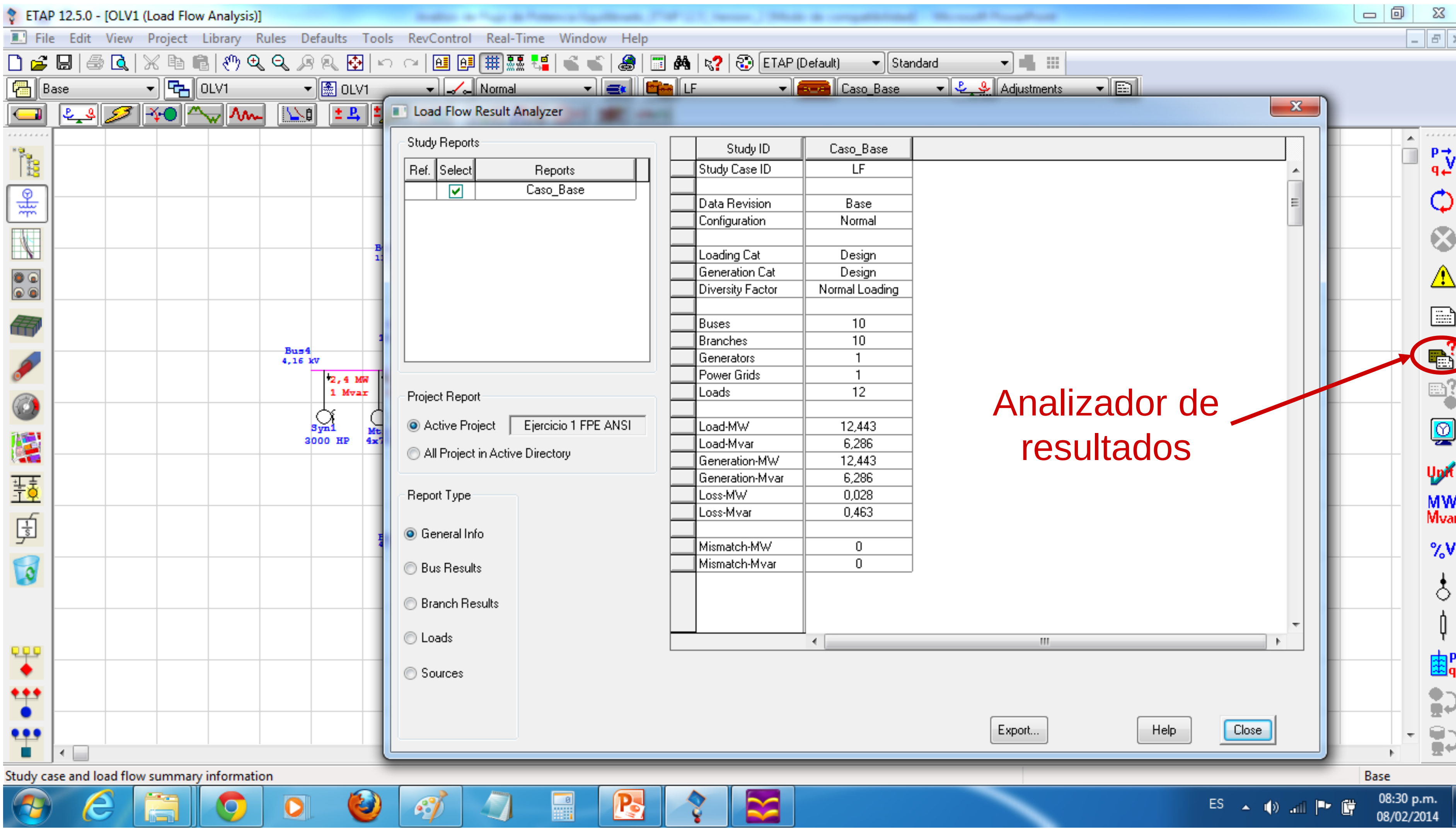
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

Project:	Flujo de Potencia Equilibrado	**ETAP** 12.5.0D	Page:	1
Location:	ARGENTINA		Date:	02-08-2014
Contract:	Curso de Capacitacion ETAP		SN:	RAIENDLRCL
Engineer:	Diego Moitre	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Ejercicio 1 FPE ANSI		Config.:	Normal

Bus Loading Summary Report

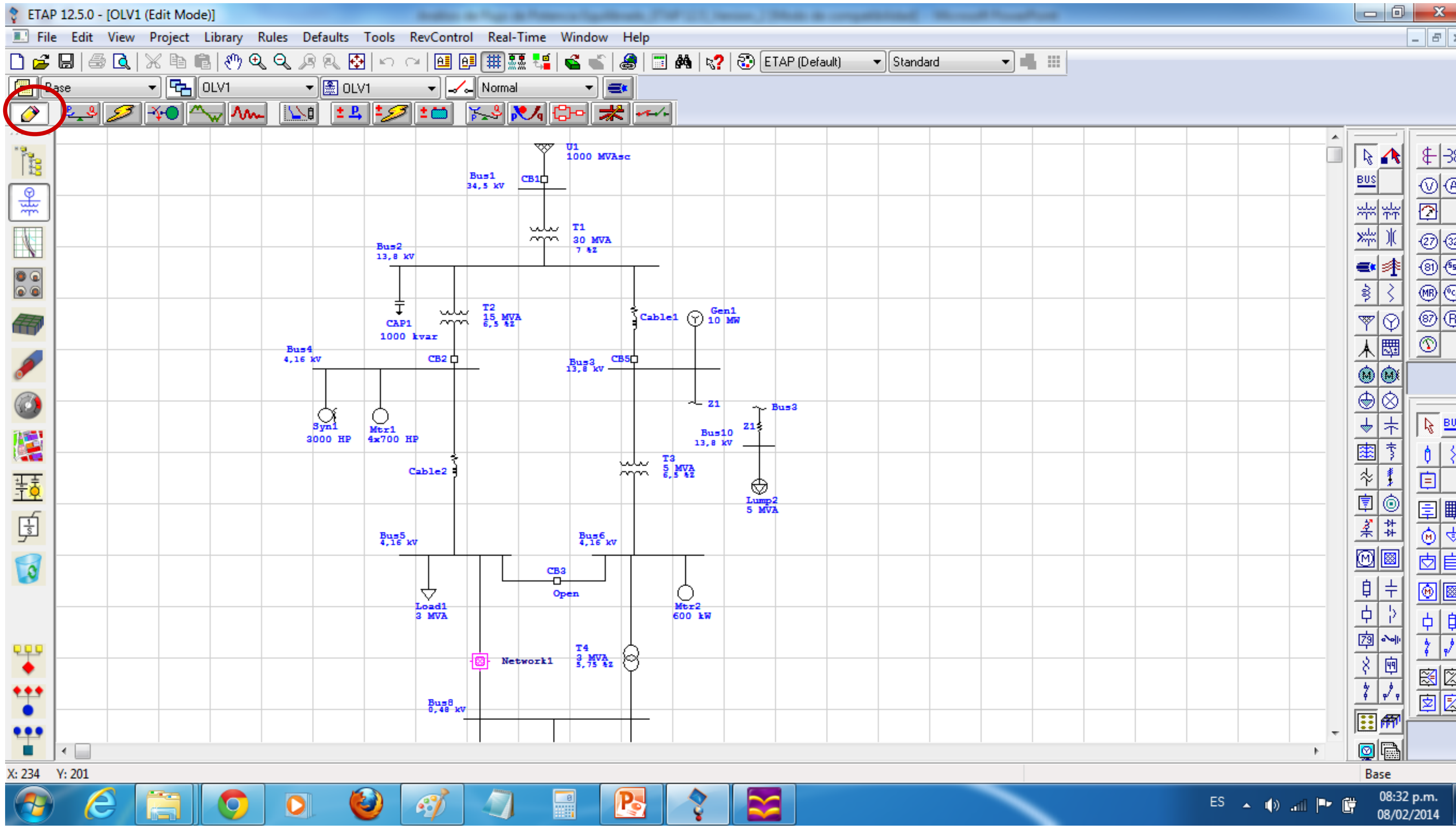
Bus			Directly Connected Load								Total Bus Load			
			Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic					
ID	kV	Rated Amp	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MVA	% PF	Amp	Percent Loading
Bus1	34.500		0	0	0	0	0	0	0	0	7.786	95.6	130.3	
Bus2	13.800		0	0	0	-0.988	0	0	0	0	8.359	89.0	351.8	
Bus3	13.800		0	0	0	0	0	0	0	0	6.851	81.2	288.3	
Bus4	4.160		4.612	1.890	0	0	0	0	0	0	7.722	88.8	1097.8	
Bus5	4.160		0	0	2.277	1.708	0	0	0	0	2.846	80.0	405.6	
Bus6	4.160		0.643	0.271	0	0	0	0	0	0	1.493	89.5	210.6	
Bus7	0.480		0.267	0.142	0.113	0.080	0	0	0	0	0.498	83.0	615.0	
Bus8	0.480		0.241	0.104	0.038	0	0	0	0	0	0.791	87.5	975.4	
Bus9	4.160		0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	50.3	9.4	
Bus10	13.800		2.125	1.317	2.099	1.301	0	0	0	0	4.969	85.0	209.2	

Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5

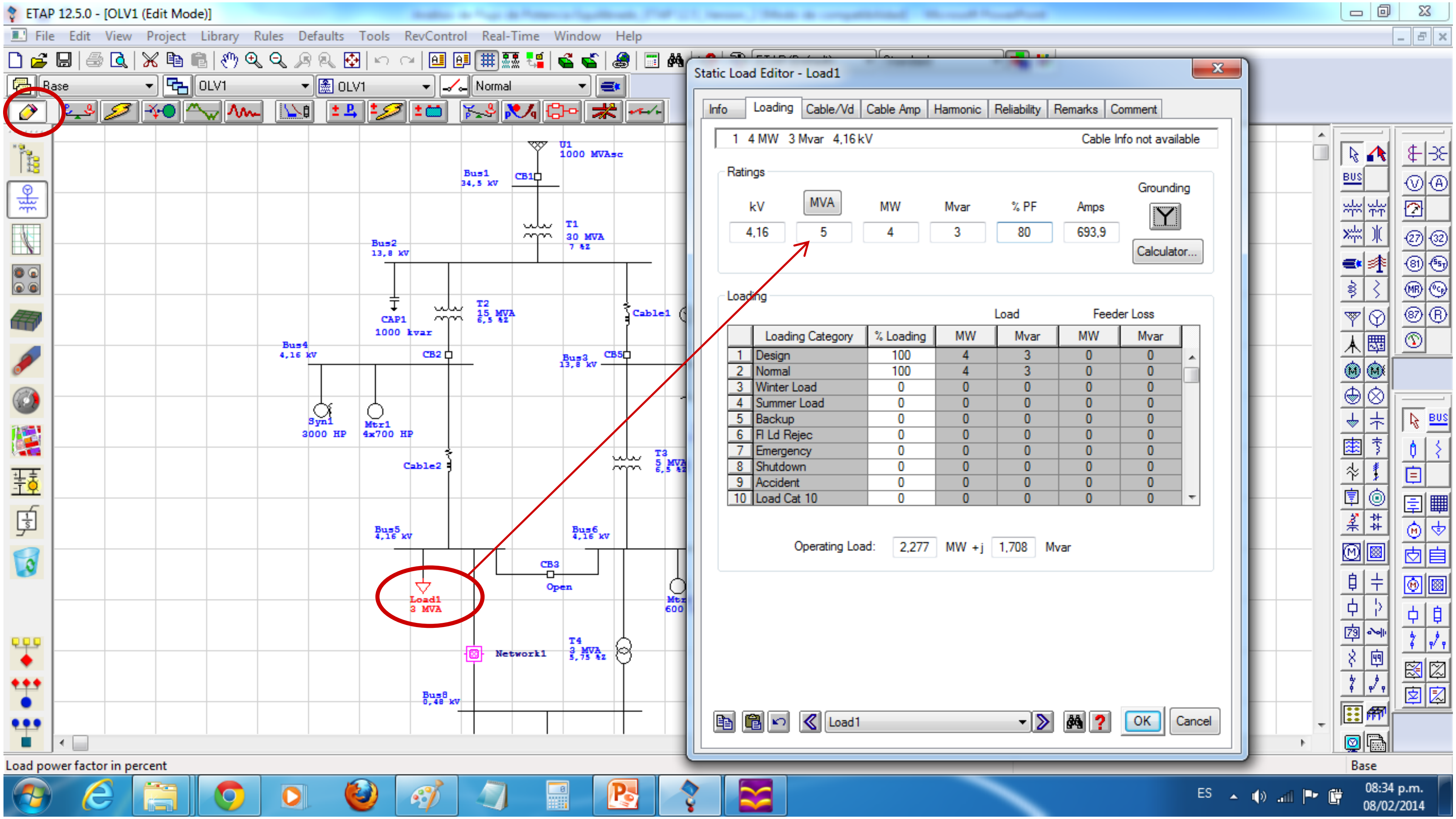


Analizador de resultados

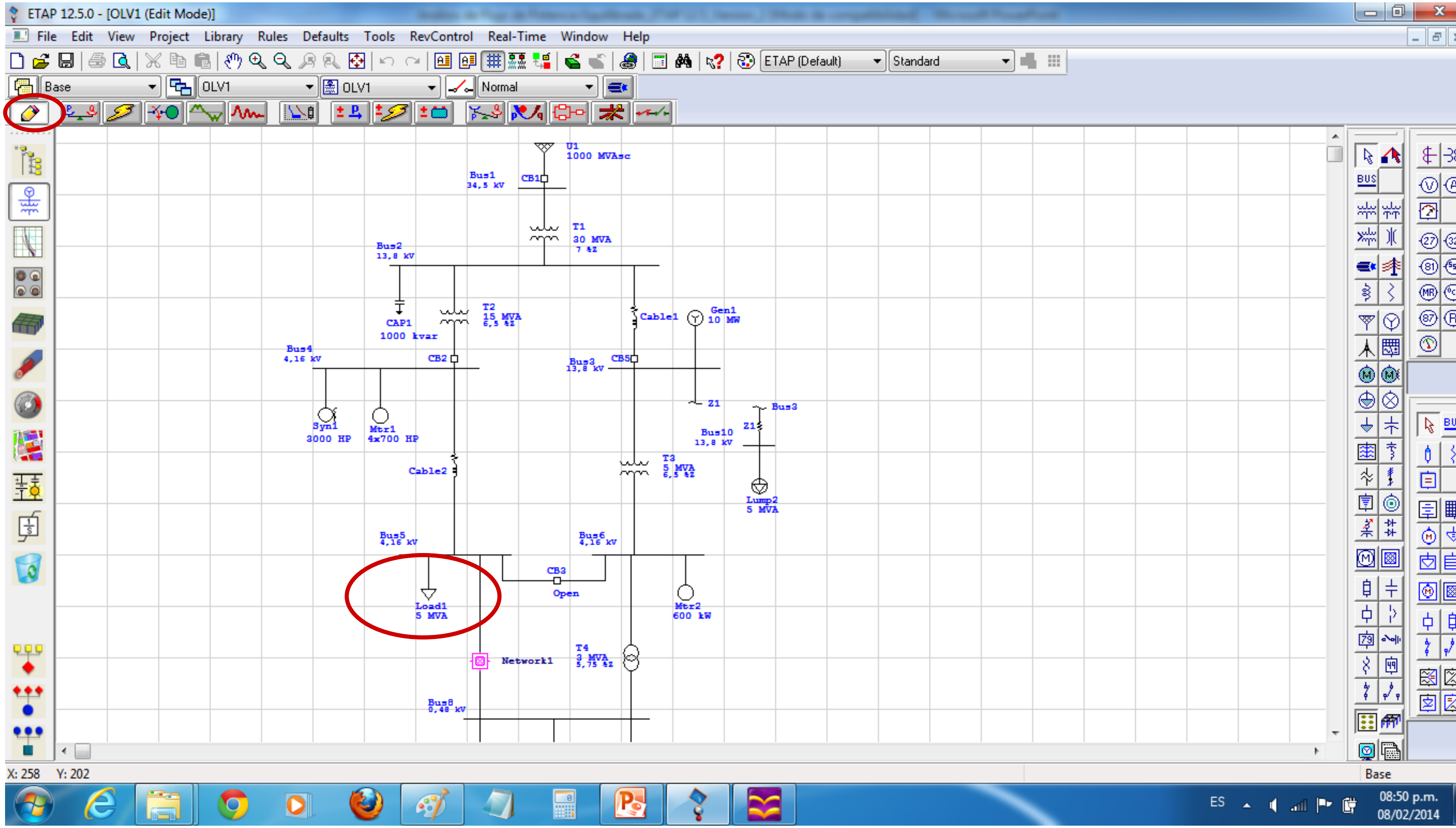
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



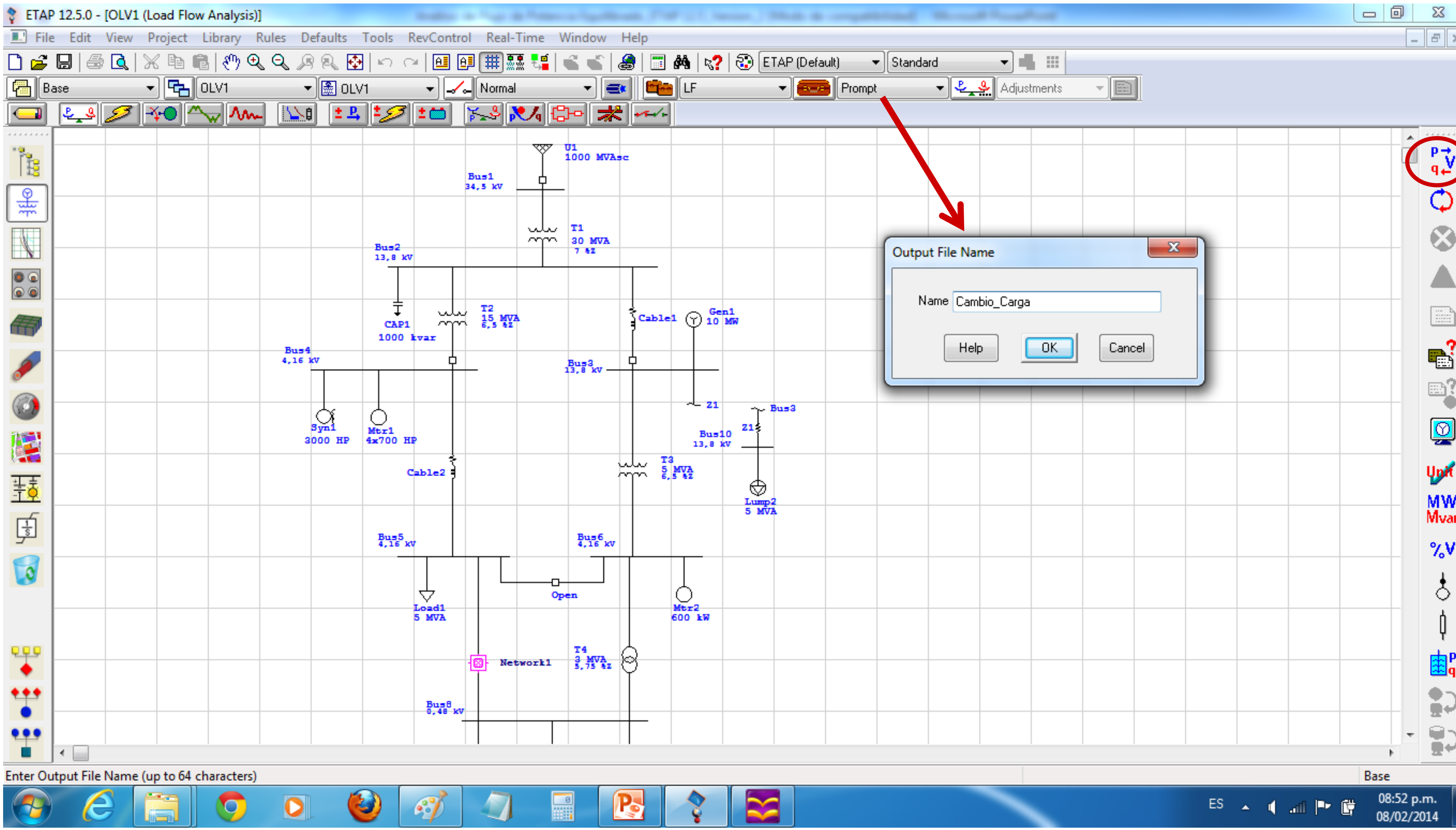
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



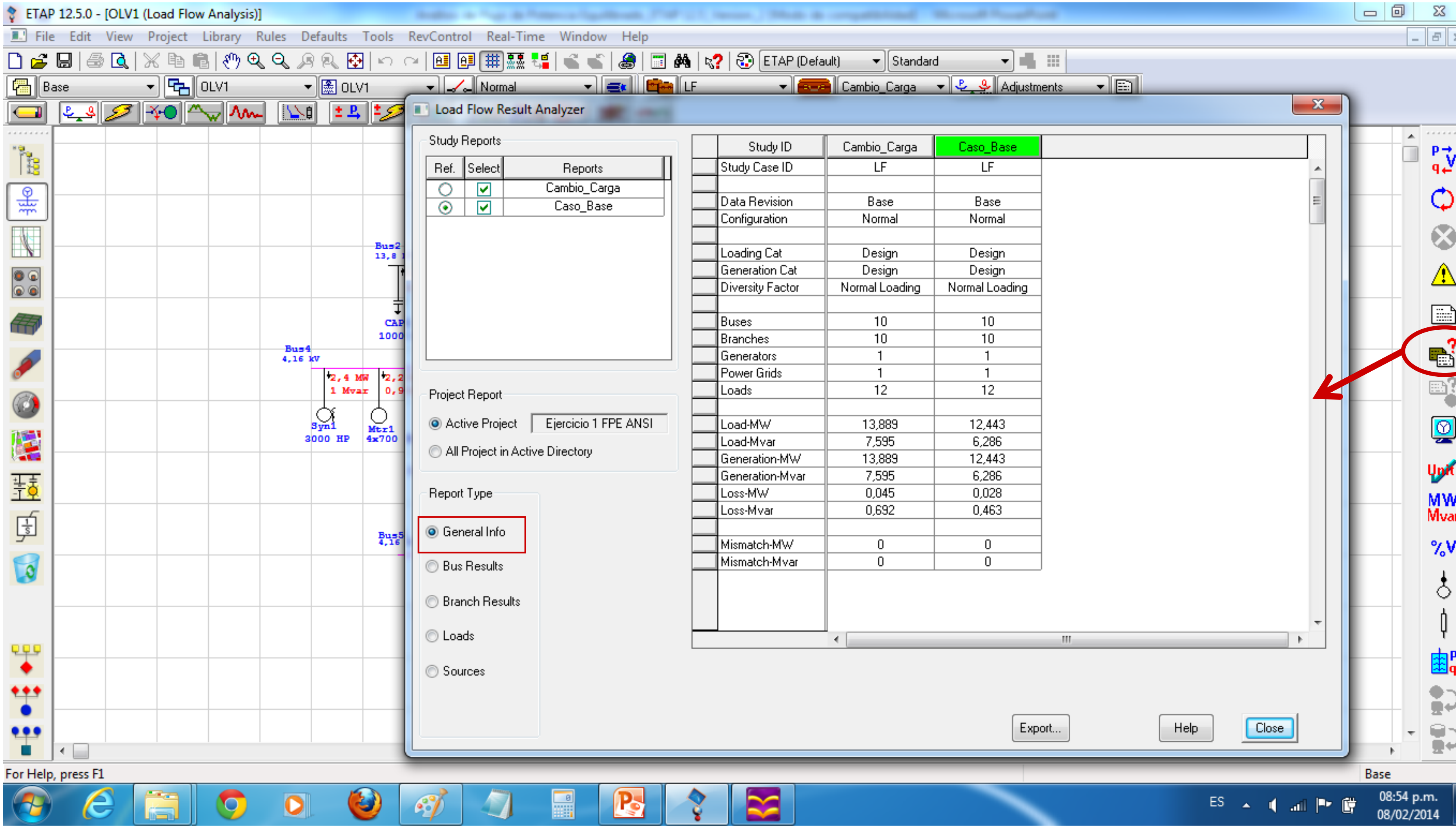
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



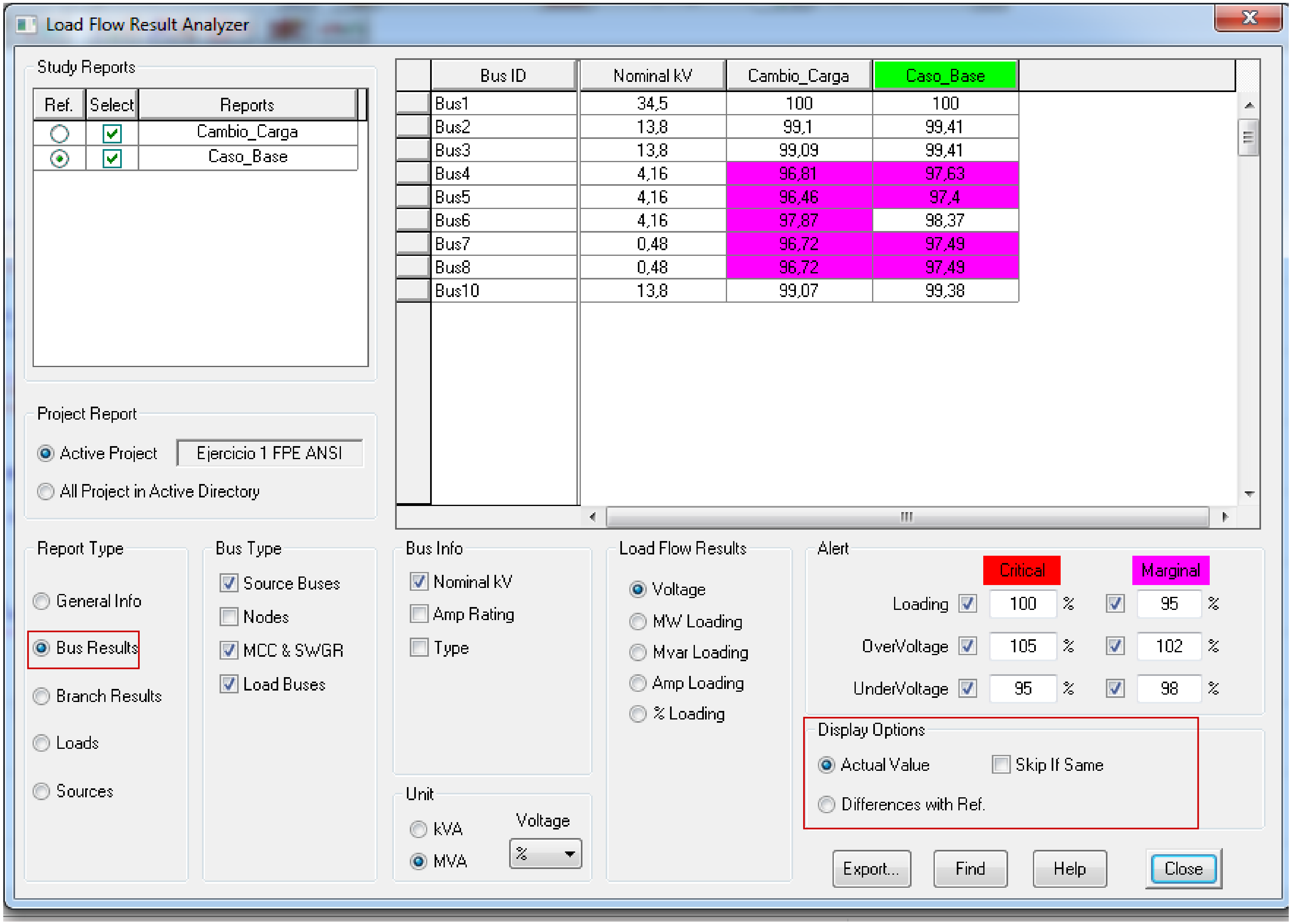
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



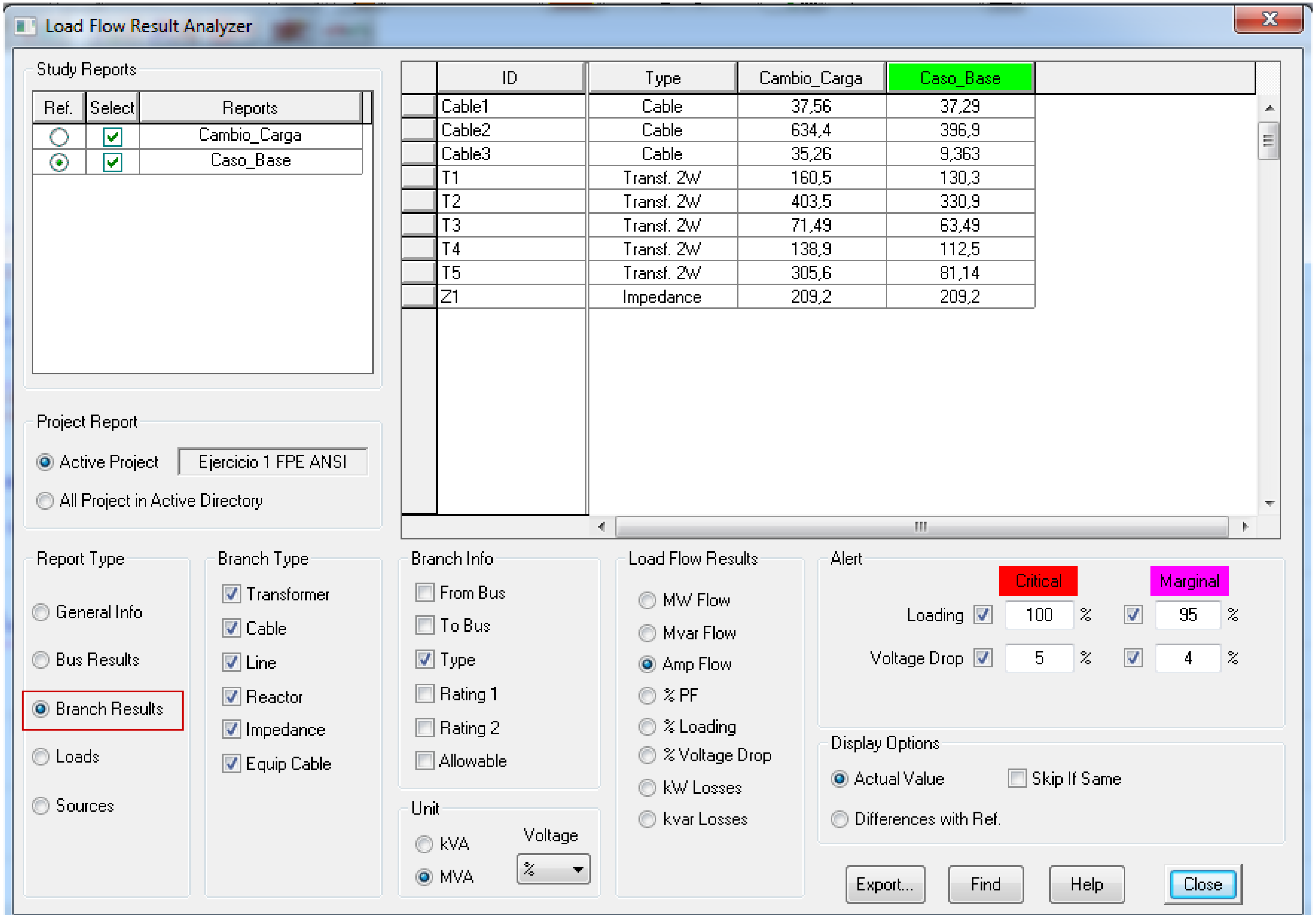
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



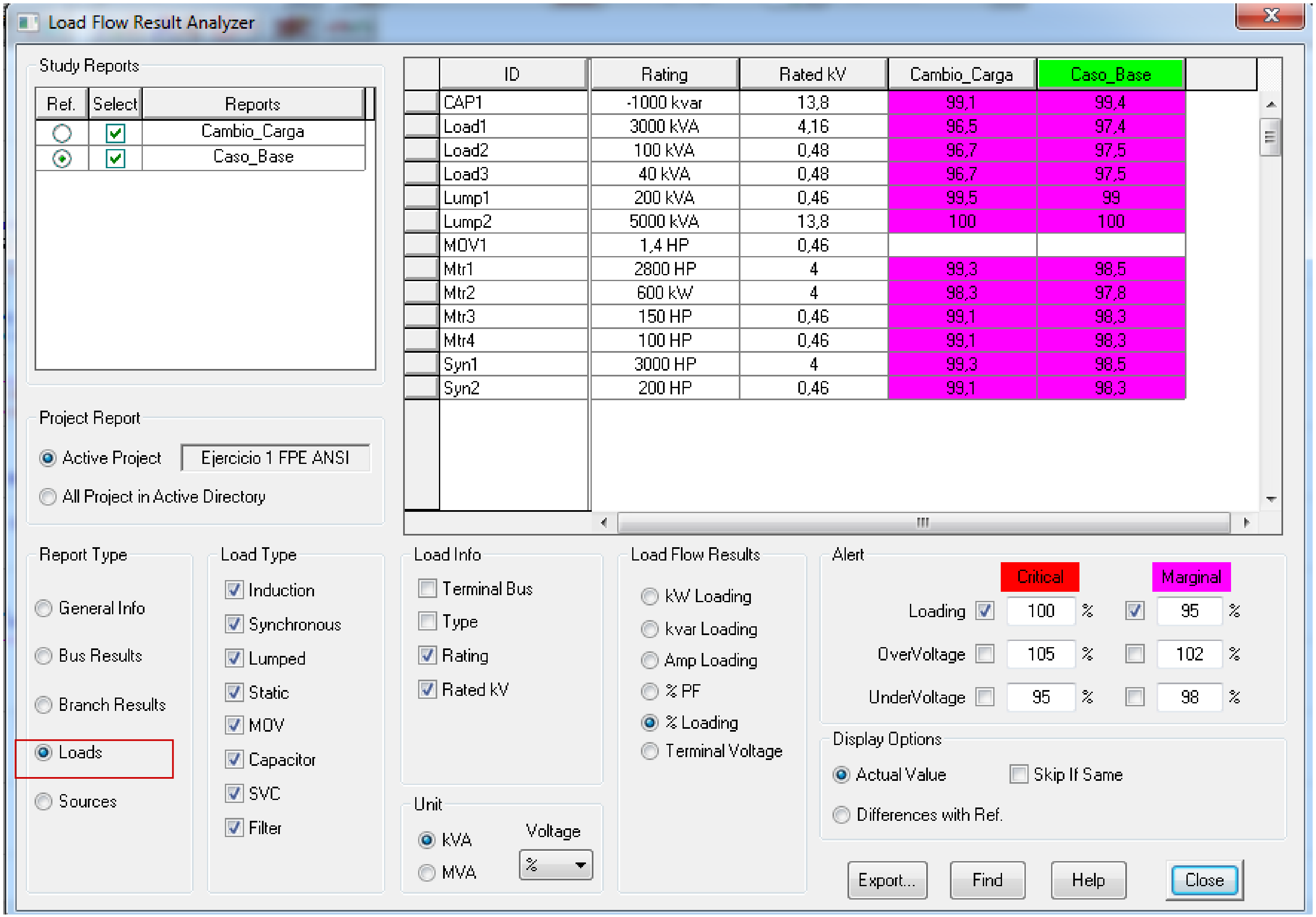
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



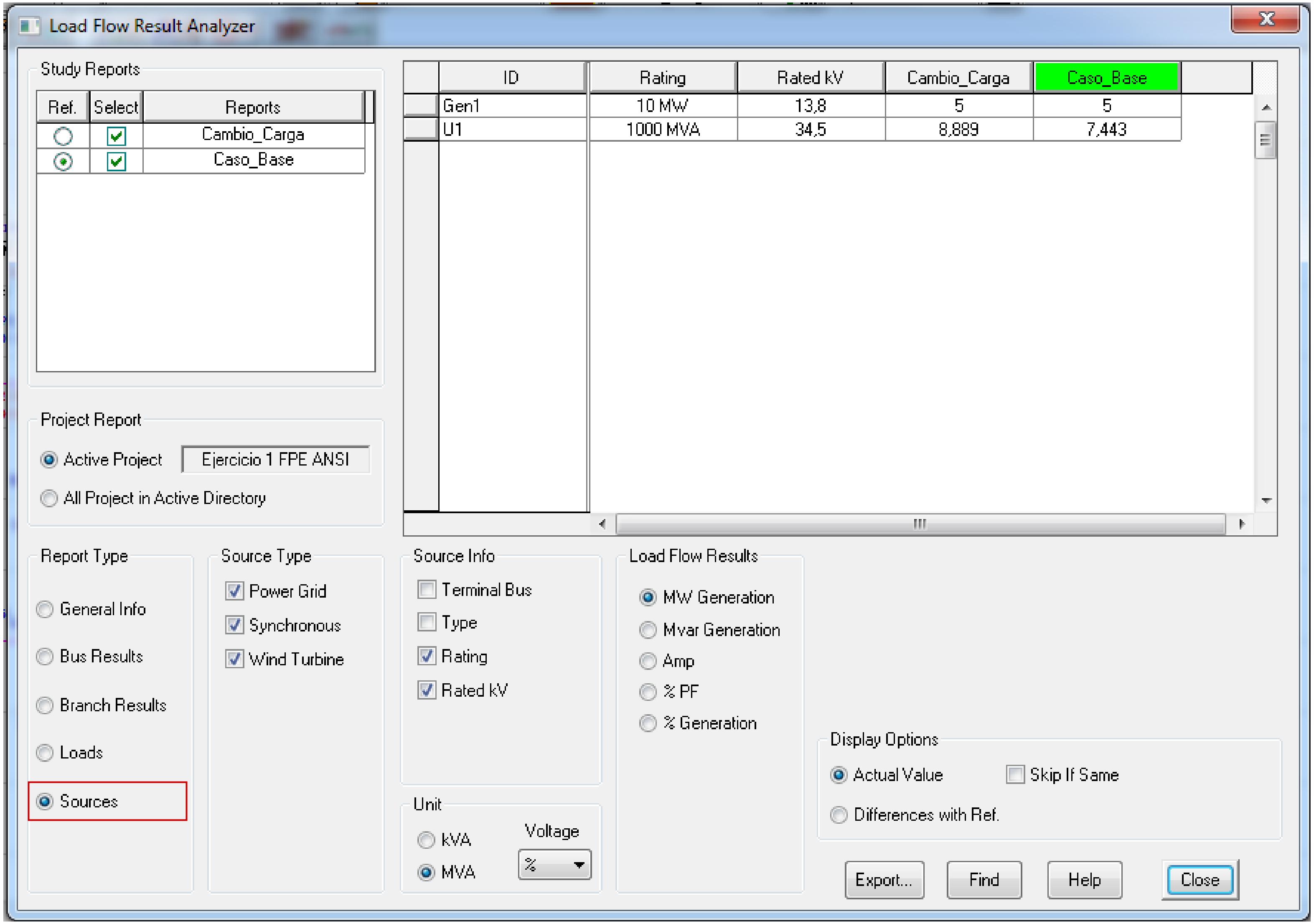
Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Ejemplos de aplicación utilizando ETAP®12.5



Efectos sobre el equipamiento

IEEE Std 18™-2002
(Revision of
IEEE Std 18-1992)

IEEE Standard for Shunt Power Capacitors

5.3 Maximum continuous operating voltage, current, and kvar

Capacitors are intended to be operated at or below their rated voltage. Capacitors shall be capable of continuous operation under contingency system and bank conditions provided that none of the following limitations are exceeded:

a) 110% of rated rms voltage
b) 120% of rated peak voltage, i.e. peak voltage not exceeding 1.2 x (square root of two) x rated rms voltage, including harmonics, but excluding transients
c) 135% of nominal rms current based on rated kvar and rated voltage
d) 135% of rated kvar

Efectos sobre el equipamiento

IEEE Std C57.12.00™-2006
(Revision of
IEEE Std C57.12.00-1999)

IEEE Standard for Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers

4.1.5 Load current

The load current shall be approximately sinusoidal. The harmonic factor shall not exceed 0.05 per unit. Harmonic factor is defined in IEEE Std C57.12.80.

4.1.6 Operation above rated voltage or below rated frequency

4.1.6.1 Capability

Transformers shall be capable of the following:

a) Operating continuously above rated voltage or below rated frequency, at maximum rated kVA for any tap, without exceeding the limits of observable temperature rise in accordance with 5.11.1.1 when all of the following conditions prevail:

   1) Secondary voltage and volts per Hertz do not exceed 105% of rated values.

   2) Load power factor is 80% or higher.

   3) Frequency is at least 95% of rated value.

b) Operating continuously above rated voltage or below rated frequency, on any tap at no load, without exceeding limits of observable temperature rise in accordance with 5.11.1, when neither the voltage nor volts per Hertz exceed 110% of rated values.