

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**



PROYECTO FINAL DE GRADO

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT**

**AUTORA: ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO**

TUTOR: PROF. ING. ROBERTO MERCADO

CO TUTOR: ING. AGUSTIN JUNIOR VERA GODOY

CORONEL OVIEDO, JUNIO DE 2025



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **DERECHO DE AUTOR**

Quien/es suscribe/n, Estefany Mariel Garcete Cardozo, autor/a/autores del trabajo de investigación titulado **“MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT”**, declara/n que voluntariamente cede/n a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los .... , del mes de ..... del 2025

.....

Firma/s



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: \_\_\_\_\_

ACTA N°: \_\_\_\_\_

FECHA : \_\_\_\_\_

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **DEDICATORIA**

*A Dios por sobre todas las cosas.*

*A mi madre Celia Cardozo por brindarme las herramientas necesarias para llegar a la meta tan anhelada.*

*A mi amado esposo Santiago Cadogan por el apoyo y acompañamiento durante todos estos años.*

*A mis maravillosos hijos Alejandro y María Paz quienes son mi mayor motivación de ser una excelente profesional.*



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

---

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme la fortaleza necesaria para llegar al día de hoy.*

*A la Facultad de Ciencias y Tecnologías, a los docentes.*

*A mi tutor Prof. Ing. Roberto Mercado y Cotutor Ing. Agustín Vera.*

*A cada miembro de mi familia.*



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## RESUMEN

El uso de herramientas tecnológicas, especialmente plataformas de simulación, es fundamental en la actualidad. Por ello, este proyecto de fin de grado desarrolla un manual de prácticas con el software ETAP. Esto permitirá a estudiantes y docentes realizar análisis y diseño de sistemas de potencia reales, facilitando investigaciones aplicables y proporcionando una herramienta útil para el desarrollo de proyectos finales.

Se relevaron datos de la Estación Capiatá y del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para su modelado. En la Estación Capiatá, se utilizaron datos de transformadores de potencia de las marcas XI'AN y Crompton, mímicos, historial de consumo por alimentador y otra información proporcionada por el operador. Para el SIN, se empleó una red simplificada basada en el trabajo de Vicente R. Zapata, considerando la línea de 500 kV entre Ayolas y Villa Hayes y la operación sincronizada de los subsistemas SS1 y SS2. Los datos, obtenidos de fuentes extraoficiales, incluyen líneas de alta tensión de 220 y 500 kV, barras de subestaciones clave, generación hidroeléctrica, reactancias e inyecciones de potencia.

A partir del análisis del programa de las materias Sistemas de Potencia I y II, se identificaron las siguientes prácticas esenciales: modelado de generadores, transformadores, líneas, barras y cargas; estudio del flujo de potencia; control de tensión mediante el cambio de derivación; y control de tensión y potencia reactiva.

Se redacta un manual de análisis y diseño de sistemas de potencia con el software ETAP. Este manual incluye una descripción detallada de cada práctica, incluyendo los pasos a seguir, los parámetros a configurar y la interpretación de los resultados.

Para evaluar el uso del manual del software ETAP, se comienza revisando su contenido y diseñando una presentación que incluya material de apoyo y planificación de la sesión. Luego, se introduce a los alumnos al software, se realiza una demostración práctica y se guían ejercicios. Se aplican encuestas y cuestionarios para evaluar el aprendizaje, observando el desempeño de los alumnos y recopilando comentarios sobre la claridad del manual. Finalmente, se analizan los resultados y se incorporan sugerencias de mejora para optimizar futuras ediciones.

**Palabras clave:** Transmisión de Energía Eléctrica, Generación de energía eléctrica, Educación de calidad (ODS 4).



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ABSTRACT

The use of technological tools, especially simulation platforms, is essential nowadays. Therefore, this final degree project develops a practice manual with ETAP software. This will allow students and teachers to perform analysis and design of real power systems, facilitating applicable research and providing a useful tool for the development of final projects.

Data from the Capiatá Station and the National Interconnected System (SIN) were collected for modeling. At the Capiatá Station, data from XI'AN and Crompton power transformers, mimics, consumption history by feeder and other information provided by the operator were used. For the SIN, a simplified network based on the work of Vicente R. Zapata was used, considering the 500 kV line between Ayolas and Villa Hayes and the synchronized operation of subsystems SS1 and SS2. The data, obtained from unofficial sources, includes 220 and 500 kV high voltage lines, key substation busbars, hydroelectric generation, reactances and power injections.

From the analysis of the Power Systems I and II syllabus, the following essential practices were identified: modeling of generators, transformers, lines, busbars and loads; study of power flow; voltage control through shunt switching; and voltage and reactive power control.

A power system analysis and design manual is written with ETAP software. This manual includes a detailed description of each practice, including the steps to be followed, the parameters to be configured and the interpretation of the results.

To evaluate the use of the ETAP software manual, we begin by reviewing its contents and designing a presentation that includes support material and session planning. Students are then introduced to the software, a practical demonstration is given and exercises are guided. Surveys and questionnaires are applied to assess learning, observing student performance and collecting feedback on the clarity of the manual. Finally, the results are analyzed and suggestions for improvement are incorporated to optimize future editions.

**Keywords:** Electric Power Transmission, Electric Power Generation, Quality Education (SDG 4).



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES .....	2
Objetivos .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Software ETAP.....	5
1.1.1. Capacidades del software.....	5
1.1.2. Requerimientos del software .....	6
1.2. Métodos de cálculo del flujo de carga en ETAP .....	7
1.2.1. Método Newton-Raphson.....	7
1.2.2. Método Newton-Raphson adaptativo .....	8
1.2.3. Método de desacoplamiento rápido.....	9
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1. Relevamiento de datos.....	11
2.2. Identificación de prácticas .....	11
2.3. Realización de las prácticas en ETAP.....	12
2.4. Redacción del manual.....	13
2.5. Evaluación del manual con grupo de alumnos .....	13
2.5.1. Revisión del manual .....	13
2.5.2. Presentación del manual .....	13
2.5.3. Evaluación del aprendizaje.....	13
2.5.4. Análisis de resultados y conclusiones .....	14



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	17
CONCLUSIONES.....	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21
ANEXOS.....	1
ANEXO 1 .....	1
A.1. Programa de materia Sistemas de Potencia I .....	1
A.2. Programa de materia Sistemas de Potencia II .....	5
ANEXO 2 .....	8
MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP.....	8
1. Descripción general del software ETAP .....	8
Diagrama unifilar y editores .....	8
Barra de menú de diagrama unifilar .....	9
Barra de herramientas del proyecto .....	10
Barra de herramientas Modo .....	10
Modo Edición .....	11
Modos de estudio.....	13
Análisis de flujo de carga .....	13
Trabajar en el modo Análisis del flujo de carga .....	14
Barra de herramientas de Flujo de carga.....	17
Editor de Generador Síncrono .....	20
Condition (Condición).....	21
Equipment (Equipo).....	22
Configuration (Configuración).....	22
Imp/Model (Impedancia / Modelo) .....	25
Editor de impedancia .....	27



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Modelo equilibrado .....	29
Impedance (Impedancia).....	29
Reactancias de secuencia positiva y homopolar (X y X0) .....	30
Units (Unidades).....	30
Percent/Ohms and Base kV/MVA (Porcentaje/Ohmios y Banco kV/MVA) .....	30
Editor de transformadores de 2 devanados .....	31
Rating (Clasificación).....	32
Power Rating (Potencia nominal) .....	34
Per Transformer (Por transformador) .....	34
Fan/Pump (Ventilador/bomba) .....	34
Derated MVA (MVA reducidos) .....	35
%Derating (%Reducción) .....	35
Z Base .....	35
Alert – Max (Alerta – Máx).....	35
Installation (Instalación).....	35
Type/Class (Tipo/Clase).....	36
Type (Tipo) .....	36
Editor de condensadores .....	37
Valores nominales.....	37
kV .....	37
Máx. kV .....	38
Mvar/Bank .....	38
# of Banks .....	38
Botón Mvar/kvar .....	38
Loading.....	39
Editor de red eléctrica (Power Grid Editor).....	39



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Rated kV (KV nominal) .....	39
Categorías de generación .....	39
Gen. Cat. ....	40
%V (Magnitud de tensión) .....	40
Vangle (Ángulo de tensión) .....	40
MW/kW .....	40
Mvar/kvar .....	41
%PF .....	41
QMax y QMin .....	41
Operating (Estado de operación) .....	41
Editor de cargas (Lumped Load).....	41
Nameplate Page.....	41
Rating (Valores) .....	42
kV .....	43
Amps .....	43
%PF.....	43
Editor de Barra .....	43
Información.....	44
ID.....	44
Nominal kV .....	45
Initial %V .....	45
Angle .....	45
Operating Voltage %V / kV / Angle.....	45
Prácticas de Análisis y diseño de sistemas de potencias .....	46
1. Modelado de la Estación Capiatá.....	46
Mímico .....	47



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Crea un proyecto nuevo .....	48
Red .....	48
Transformador 1 .....	49
Transformador 2 .....	50
Transformadores S.S.A.A. MT/BT (T1 y T2) .....	52
Cargas .....	52
Banco de capacitores 1 .....	54
Banco de capacitores 2 .....	55
Escenario 1. Flujo de potencia (Sin compensación reactiva) .....	57
Resultados (Escenario 1) .....	58
Interpretación de resultados (Escenario 1) .....	60
Escenario 2. Flujo de potencia (Con compensación reactiva) .....	61
Resultados (Escenario 2) .....	62
Interpretación de resultados (Escenario 2) .....	64
Escenario 3. Flujo de potencia (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva) .....	65
Resultados (Escenario 3) .....	69
Interpretación de resultados (Escenario 3) .....	70
2. Modelado del SIN en ETAP .....	72
a. Información de Barrajes .....	72
b. Información de generadores .....	75
c. Información de Líneas de Transmisión .....	76
d. Información de Transformadores .....	79
e. Información de Cargas .....	80
Resultados .....	80
General .....	81



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Bus .....	81
Branch .....	82
Load .....	83
Source .....	83
Interpretación de resultados (Modelado del SIN) .....	83
ANEXO 3 .....	85
A.3.1. Encuesta prepotencia .....	85
A.3.2. Encuesta post-ponencia .....	88
A3.3. Resultados .....	92



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz del software ETAP.....	9
Figura 2. Barra de modos con el modo de Flujo de Potencia (Load Flow). ....	10
Figura 3. Barra de herramientas de modo con el modo de edición seleccionado. ....	11
Figura 4. Barra de elementos AC y DC. ....	12
Figura 5. Mímico de la ES-CAP.....	47
Figura 6. Parámetros de simulación Transformador TR01.....	50
Figura 7. Parámetros de simulación Transformador TR02.....	51
Figura 8. Parámetros para la Carga del CAP-1.....	54
Figura 9. Parámetros del Banco de condensadores 1.....	55
Figura 10. Parámetros para el banco de condensadores 2.....	56
Figura 11. Unifilar de la ES-CAP (Sin compensación reactiva). ....	58
Figura 12. Unifilar de la ES-CAP (Con compensación reactiva).....	62
Figura 13. Datos de placa del cambiador de tomas del transformador de la ES-CAP. .	66
Figura 14. Parámetros para el modelado del cambiador de tomas. ....	67
Figura 15. Valor de ajuste de cambiador de tomas para TR-01 y TR-02. ....	67
Figura 16. Unifilar de la ES-CAP (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva). .....	68
Figura 17. Unifilar del SIN Simplificado.....	74



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cargas de las barras de 23 kV de la ES-CAP .....	53
Tabla 2. Escenario 1 (Sin compensación reactiva).....	57
Tabla 3. Escenario 2 (Con compensación reactiva). .....	61
Tabla 4. Escenario 3 (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva).....	65
Tabla 5. Barras de la red .....	73
Tabla 6. Generadores de la red.....	75
Tabla 7. Parámetros dinámicos de los generadores .....	76
Tabla 8. Parámetros de impedancia de las líneas.....	77
Tabla 9. Longitud y Capacidad de las líneas .....	78
Tabla 10. Transformadores de la red .....	79
Tabla 11. Parámetros de impedancia de transformadores .....	79
Tabla 12. Cargas e inyecciones de la red.....	80

## **INTRODUCCIÓN**

En estos tiempos necesariamente debemos recurrir a herramientas tecnológicas, especialmente plataformas de simulación de fenómenos magnéticos, eléctricos o de ingeniería en general.

Ahora bien, según entrevista al profesor de las materias Sistemas de Potencia 1 y 2 en estas materias se realiza la resolución analítica de problemas de sistemas teóricamente ideales y no se dispone de prácticas de análisis y diseño de sistemas de potencia reales. Por este motivo, en este proyecto de fin de grado se redacta un manual de prácticas en software especializado de análisis y diseño de sistemas de potencia adecuado al contenido programático de las materias de Sistemas de Potencia de la FCyT con el uso del software ETAP.

Al redactar un manual de prácticas de análisis y diseño de sistemas de potencia con el software ETAP, mediante su utilización se podrá realizar prácticas con un software capaz de resolver problemas de sistema de potencia reales y no solo un análisis ideal de los mismos en las materias de Sistemas de Potencia 1 & 2 de la FCyT.

Los principales beneficiarios serán el profesor de la materia y los alumnos de Ingeniería en Electricidad de la FCyT por que permitirá el desarrollo de investigaciones aplicables para solucionar problemas reales mediante simulaciones, esto proveerá al estudiante una herramienta útil para el desarrollo de sus proyectos finales de grado.

## **ANTECEDENTES**

En el año 2015 *Solannly B. Mendieta Y.* en su trabajo **“Manual para el uso de las herramientas básicas del software Manual para el uso de las herramientas básicas del software ETAP”** [1] desarrolló una guía específica del software ETAP en tres estudios específicos: el flujo de carga, el análisis de corto circuito, y la coordinación de protección. Proporcionando la información del manejo y lectura de resultados para que los estudiantes de ingeniería Eléctrica aprovechen la herramienta de análisis de una forma fácil y didáctica.

En el año 2002 *Jair A. Hernández G. y Richard J. Loba S.* en su proyecto final de grado **“ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA QUE FACILITE EL USO DEL SOFTWARE ETAP APLICÁNDOLO AL STN”** [2] tuvieron como objetivo facilitar el uso del software ETAP PowerStation mediante la elaboración de guías académicas. Estas guías fueron desarrolladas a partir de aplicaciones realizadas en el Sistema de Transmisión Nacional (STN), con el objetivo de incentivar su uso entre los estudiantes. Asimismo, se incluye una descripción general del STN, destacando sus características y restricciones. Para la realización de los análisis, se detallan la información requerida, el proceso de edición y la generación de la base de datos, permitiendo una gestión flexible de los parámetros técnicos.

Finalmente, el trabajo expone de manera estructurada el uso del programa a través de tres tipos de análisis: flujo de carga, cortocircuito y estabilidad transitoria.

En el año 2017 *Chirag A. Patel; Kishan R. Karangiya; Vikesh M.Patel y Meru D. Shah* presentaron el proyecto **“Load Flow Analysis of IEEE-14 Bus using E-TAP software”** [3] que se centró en el análisis del sistema de potencia del sistema de bus IEEE-14, estudiando el flujo de carga mediante el software E-TAP. Se modelaron y simularon diversos componentes del sistema de potencia, como generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas.

El análisis se basó en los resultados obtenidos, los informes generados y la discusión de estos, siguiendo el diagrama unifilar del sistema estándar IEEE-14. Este sistema incluyó

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT  
ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO - 2025**

---

cinco máquinas síncronas con excitadores IEEE de tipo 1, de las cuales tres funcionan como compensadores síncronos utilizados exclusivamente para el soporte de potencia reactiva. Además, contó con 11 cargas que suman un total de 259 MW y 81,3 Mvar. Los datos dinámicos de los excitadores de los generadores se seleccionaron a partir de la hoja de datos proporcionada.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Elaborar manual de prácticas de análisis y diseño de sistemas de potencia con el software ETAP enfocado al estudio de flujo de carga, contenido programático de la materia de sistemas de potencia de la FCyT.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las prácticas a realizar, enfocadas en el estudio de flujo de carga según el contenido programático de las materias Sistemas de Potencia 1 y 2 y realizarlas en el software especializado en sistemas de potencia para su posterior documentación en un manual.
- Relevar datos e informaciones para modelar sistemas de potencias reales en el software ETAP.
- Redactar un manual de análisis y diseño de sistemas de potencia con el software ETAP.
- Evaluar el manual de prácticas realizadas con software ETAP con un grupo de alumnos.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Software ETAP

El software ETAP es un paquete totalmente gráfico que se ejecuta en sistemas operativos Microsoft Windows. Es una herramienta de análisis para el diseño y prueba de sistemas de energía. ETAP ha sido diseñado por ingenieros para ingenieros y puede manejar la diversa disciplina de sistemas de energía para un amplio espectro de industrias en un solo paquete integrado [4].

#### 1.1.1. Capacidades del software

Las capacidades del software ETAP incluyen [4]:

- **Modelado de sistemas eléctricos:** ETAP permite la creación y edición de diagramas unifilares (OLD), sistemas de canalización de cableado subterráneo (UGS), sistemas de cable en tres dimensiones, diagramas de coordinación y selectividad, esquemas de sistemas de información geográfica (SIG), y sistemas de redes terrestres tridimensionales (GGS). También modela sistemas de bucles y radiales, subsistemas aislados ilimitados, condiciones de carga múltiple, anidamiento de subsistemas multinivel, modelado trifásico y monofásico, incluyendo paneles y subpaneles.
- **Análisis de sistemas de potencia:** ETAP ofrece módulos de simulación fuera de línea para realizar análisis de flujo de carga, cortocircuito, estabilidad transitoria, armónicos, entre otros. Además, puede utilizar datos operativos en tiempo real para el control avanzado, simulación en tiempo real, la optimización de los sistemas de gestión de energía, de alta velocidad y el deslastre de carga inteligente.
- **Integración de datos:** ETAP combina los atributos eléctricos, lógicos, mecánicos y físicos de los elementos del sistema en la misma base de datos. Esto proporciona coherencia en todo el sistema y elimina la necesidad de múltiples entradas de datos para el mismo elemento.
- **Simplicidad en la entrada de datos:** ETAP comprueba los datos detallados de cada aparato eléctrico, utilizando editores de datos que aceleran el proceso al requerir los datos mínimos para un estudio particular.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO - 2025

---

ETAP también ofrece las siguientes características:

- **Interfaz gráfica:** ETAP tiene una interfaz gráfica que permite construir diagramas unifilares. El programa tiene herramientas para crear y editar los diagramas.
- **Librerías:** ETAP utiliza archivos de almacenamiento compuesto de Microsoft (formato binario). Los archivos de la biblioteca de ETAP se pueden exportar.
- **Herramientas de ayuda:** ETAP incluye un archivo de ayuda en línea que se puede utilizar para buscar información sobre el programa. También incluye ayuda para todos los editores, líneas de ayuda para los campos de entrada y la tecla de función F1 para mostrar la ayuda en la ventana activa.
- **Copias de seguridad:** ETAP mantiene copias de seguridad de los archivos del proyecto. Las copias de seguridad se crean cuando se convierte una versión anterior del programa, se abre un proyecto y cuando se guarda un proyecto.
- **Informes:** ETAP genera informes imprimibles a todo color utilizando Crystal Reports. Los informes se pueden personalizar y exportar a otros formatos.
- **Compatibilidad con bases de datos:** ETAP utiliza una base de datos que se crea automáticamente en un DBMS como MS Access u Oracle. Los proyectos pueden ser copiados y renombrados fuera de ETAP si no requieren una contraseña.
- **Módulos:** ETAP cuenta con numerosos módulos orientados al diseño, planeación y operación de un sistema eléctrico. Los módulos incluyen análisis de flujo de carga, cortocircuito, estabilidad transitoria y armónicos.

El software ETAP es utilizado por empresas consultoras, industriales y electrificadoras a nivel nacional. Es una herramienta confiable, rápida y amigable a la hora de modelar y llevar diferentes análisis eléctricos.

## 1.1.2. Requerimientos del software

Los requerimientos del software ETAP se dividen en sistemas operativos, software y hardware [1].

### Requisitos de Sistemas Operativos

- Microsoft Windows XP (SP3) (Professional, Home Edition)
- Microsoft Server 2008 R2 (Standard)

- Microsoft Server 2008 (Standard)
- Microsoft Server 2003 R2 (Standard) (SP2)
- Microsoft Server 2003 (Standard) (SP2)
- El software está diseñado para sistemas operativos Windows de 32 o 64 bits, incluyendo XP, 2003, 2008, 2012, Vista, 7 y 8.

### **Requisitos de Software**

- Microsoft Internet Explorer® 5.01
- Microsoft.NET Framework v3.5 (SP1)
- Microsoft SQL Server Compact 3.5 (SP2)

### **Requisitos de Hardware Recomendados**

- Para proyectos de hasta 100 Nodos, se recomienda un procesador Intel Dual/Quad core – 2.0 GHz (o equivalente).

Es importante tener en cuenta que los requerimientos del software pueden variar dependiendo del tamaño del sistema que se desea analizar. ETAP es una herramienta eficaz para realizar estudios en sistemas de tamaño considerable. El software también está diseñado para manejar la diversa disciplina de sistemas de energía para un amplio espectro de industrias en un solo paquete integrado.

## **1.2. Métodos de cálculo del flujo de carga en ETAP**

ETAP ofrece tres métodos de cálculo del flujo de carga: Newton-Raphson Adaptativo, Newton-Raphson y Desacoplamiento Rápido. Poseen características convergentes diferentes, y a veces uno de ellos es más favorable para obtener el mejor rendimiento. Puede seleccionarse cualquiera de ellos en función de la configuración del sistema, la generación, las condiciones de carga y las tensiones de bus iniciales [5].

### **1.2.1. Método Newton-Raphson**

El método Newton-Raphson formula y resuelve iterativamente la siguiente ecuación de flujo de carga:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

donde  $\Delta P$  y  $\Delta Q$  son los vectores de desajuste de potencia real y potencia reactiva del bus entre el valor especificado y el valor calculado, respectivamente;  $\Delta V$  y  $\Delta \delta$  representan los vectores de magnitud y ángulo de tensión del bus de forma incremental; y  $J_1$  a  $J_4$  se denominan matrices Jacobianas.

El método Newton-Raphson posee una característica de convergencia cuadrática única. Suele tener una velocidad de convergencia muy rápida en comparación con otros métodos de cálculo del flujo de carga. También tiene la ventaja de que los criterios de convergencia se especifican para garantizar la convergencia para los desajustes de potencia real y reactiva del bus. Este criterio permite controlar directamente la precisión que se desea especificar para la solución del flujo de carga. Los criterios de convergencia para el método Newton-Raphson se fijan normalmente en 0,001 MW y Mvar.

El método Newton-Raphson depende en gran medida de los valores iniciales de tensión de barras. Se recomienda encarecidamente una selección cuidadosa de los valores iniciales de tensión de barras. Antes de ejecutar el flujo de carga utilizando el método Newton-Raphson, ETAP realiza algunas iteraciones Gauss-Seidel para establecer un conjunto de valores iniciales adecuados para las tensiones de bus.

Se recomienda utilizar el método Newton-Raphson con cualquier sistema como primera opción.

### **1.2.2. Método Newton-Raphson adaptativo**

Este método Newton-Raphson mejorado introduce un conjunto de pasos más pequeños para las iteraciones en las que se encuentra una posible condición de divergencia. Los incrementos más pequeños pueden ayudar a alcanzar una solución de flujo de carga para algunos sistemas en los que el método Newton-Raphson normal podría no alcanzarla.

El método Newton-Raphson se basa en la aproximación de la serie de Taylor. Para simplificar y aumentar los pasos, se realiza una interpolación/extrapolación lineal de los incrementos de los pasos temporales adicionales para mejorar la solución.

$$f(x_k + \alpha_k * \Delta x_k) < f(x_k)$$

Los pasos incrementales se controlan ajustando el valor de  $\alpha_k$  para encontrar una posible solución para el siguiente paso de solución.

Los resultados de las pruebas demuestran que el método de flujo de carga adaptativo puede mejorar la convergencia de los sistemas de distribución y transmisión con importantes efectos de capacitancia en serie (es decir, reactancia en serie negativa). También se considera que puede mejorar la convergencia de los sistemas con valores de impedancia muy pequeños, pero esto no está garantizado.

Un efecto secundario de la utilización de este método es la reducción de la velocidad de cálculo debido a los pasos incrementales de la solución.

### **1.2.3. Método de desacoplamiento rápido**

El método de desacoplamiento rápido se deriva del método de Newton-Raphson. Se basa en el hecho de que un pequeño cambio en la magnitud de la tensión del bus no varía la potencia real en el bus de forma apreciable y, del mismo modo, para un pequeño cambio en el ángulo de fase de la tensión del bus, la potencia reactiva no cambia de forma apreciable. Así, la ecuación de flujo de carga del método Newton-Raphson puede simplificarse en dos conjuntos separados y desacoplados de ecuaciones de flujo de carga, que pueden resolverse iterativamente:

$$\begin{aligned} [\Delta P] &= [J_1] [\Delta \delta] \\ [\Delta Q] &= [J_4] [\Delta V] \end{aligned}$$

En comparación con el método Newton-Raphson, el método de desacoplamiento rápido reduce aproximadamente a la mitad la memoria del ordenador. También resuelve las ecuaciones de flujo de carga empleando mucho menos tiempo de cálculo que el método Newton-Raphson, ya que las matrices jacobianas son constantes.

Al igual que con el método Newton-Raphson, los criterios de convergencia del método de desacoplamiento rápido se basan en los desajustes de potencia real y potencia reactiva, que suelen fijarse en 0,001 en el orden de MW y Mvar.

Aunque para un número fijo de iteraciones no es tan preciso como el método Newton-Raphson, el ahorro de tiempo de cálculo y los criterios de convergencia más favorables hacen que el rendimiento global sea muy bueno.

En general, el método de desacoplamiento rápido puede utilizarse como alternativa al método de Newton-Raphson, y sin duda debe probarse si el método de Newton-Raphson ha fallado al tratar con sistemas radiales largos o sistemas que tienen líneas o cables de transmisión largos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Relevamiento de datos

Con el fin de modelar sistemas de potencia reales se relevan datos de la Estación Capiatá de la ANDE y el Sistema Interconectado Nacional de Paraguay.

#### 2.1.1. Datos de la Estación Capiatá

Para el modelado de la Estación Capiatá, se emplean datos obtenidos de las placas de los transformadores de potencia de la marca XI'AN y CG (Crompton), mímicos, historial de valores de corriente consumida por alimentador entre otra información proporcionada por el operador de dicha estación.

#### 2.1.2. Datos del SIN (Sistema interconectado Nacional)

Para el modelado del SIN, se emplea la red simplificada utilizada por *Vicente R. Zapata* en su Proyecto final de Máster [3] que considera la operación de la línea de 500 kV que conecta las subestaciones de Ayolas y Villa Hayes, así como el funcionamiento en sincronismo de los subsistemas SS1 y SS2.

Los datos utilizados provienen de fuentes extraoficiales y corresponden a valores reales. En esta red se representan las líneas de alta tensión de 220 y 500 kV, las barras de las subestaciones más relevantes, la generación de las hidroeléctricas (Itaipú, Yacyretá y Acaray), las reactancias y algunas inyecciones de potencia.

### 2.2. Identificación de prácticas

Mediante el análisis del programa de las materias de Sistema de Potencia I y II se identificaron las siguientes practicas:

- Modelado de generadores, transformadores, líneas, barras y cargas.
- Flujo de potencia.
- Control de tensión mediante cambio de derivación.
- Control de tensión y potencia reactiva.

### **2.3. Realización de las prácticas en ETAP**

Las practicas consisten en:

**2.3.1. Modelado de la Estación Capiatá:** 2 transformadores de potencia trifásicos de 80 MVA, bancos de capacitores de 6 y 12 MVar, barras de 220 kV y 23 kV, 14 alimentadores. Del modelo base se plantean 3 escenarios:

- **Escenario 1. Flujo de potencia (Sin compensación reactiva):** en este escenario los bancos de capacitores están desconectados.
- **Escenario 2. Flujo de potencia (Con compensación reactiva):** en este escenario los bancos de capacitores están operativos.
- **Escenario 3. Flujo de potencia (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva):** en este escenario se modela el cambiador de tomas bajo carga [LTC (Load Tap Changer)] los bancos de capacitores están desconectados.

En el ANEXO 2 (Modelado de la Estación Capiatá) se detalla todo lo mencionado anteriormente.

**2.3.2. Modelado del SIN:** La representación de las centrales se realiza de la siguiente manera: Itaipú se modela con dos generadores equivalentes a sus 10 unidades reales de 50 Hz, cada uno conectado a una barra diferente de su subestación. Yacyretá también se representa con dos generadores, que equivalen a sus 18 unidades reales, conectados a distintas barras de su subestación. Por su parte, Acaray se modela con cuatro generadores, cada uno vinculado a una barra de su subestación.

Se presenta la agrupación de las barras según su subestación de conexión: Itaipú, Margen Derecha, Acaray, Villa Hayes, Itakyry, Ayolas, Yacyretá, Foz de Iguazú y Rincón. El sistema modelado cuenta con 27 líneas que conectan las distintas barras, formando una red mallada.

En el ANEXO 2 (Modelado del SIN en ETAP) se detalla todo lo mencionado anteriormente.

## **2.4. Redacción del manual**

Se redacta un manual de análisis y diseño de sistemas de potencia con el software ETAP. Este manual incluye una descripción detallada de cada práctica, incluyendo los pasos a seguir, los parámetros a configurar y los resultados.

En el ANEXO 2 se podrá encontrar el Manual redactado.

## **2.5. Evaluación del manual con grupo de alumnos**

Para evaluar el uso del manual elaborado para el software ETAP mediante una ponencia dirigida a un grupo de alumnos, se siguen los siguientes pasos detallados:

### **2.5.1. Revisión del manual**

Se realiza una revisión del manual con el tutor para garantizar que su contenido esté bien estructurado, sea claro y esté alineado con el uso del software ETAP. Además, se diseña una presentación que incluye diapositivas o material de apoyo con una introducción al software, los objetivos de la práctica y los pasos a seguir. Finalmente, se planifica la sesión definiendo su duración (1 Clase), la metodología a emplear (Ponencia) y la dinámica a seguir, asegurando un equilibrio entre la parte teórica y la práctica.

### **2.5.2. Presentación del manual**

Se introduce a los alumnos de sistemas de potencia I de la FCyT en el software ETAP, explicando su interfaz y su aplicación en el análisis de sistemas de potencia. Se realiza una demostración práctica en la que se muestra paso a paso cómo utilizar el manual para modelar y analizar sistemas en ETAP. Finalmente, los alumnos llevan a cabo ejercicios guiados siguiendo el manual, con la posibilidad de recibir asistencia en caso de dudas.

### **2.5.3. Evaluación del aprendizaje**

Para evaluar el aprendizaje, se aplican encuestas y cuestionarios antes y después de la ponencia, con el objetivo de medir el nivel de conocimiento adquirido. Se documenta lo anterior en el ANEXO 3. Además, se observa el desempeño de los alumnos para analizar

cómo aplican el manual en la práctica y detectar posibles dificultades. Finalmente, se lleva a cabo una discusión en la que se recopilan comentarios sobre la claridad y utilidad del manual, así como sugerencias para su mejora.

#### **2.5.4. Análisis de resultados y conclusiones**

Se Analiza el impacto del manual en la comprensión y aplicación del software ETAP.

Documentando los hallazgos y proponer mejoras al manual si es necesario.

Finalmente, se Incorpora sugerencias de los alumnos y docentes para optimizar futuras ediciones del manual.

##### **2.5.4.1. Conocimiento Previo vs. Conocimiento Posterior a la Ponencia**

- **Pre-ponencia:**

- Todos los alumnos (26/26) indicaron que no habían utilizado previamente un software para el análisis de sistemas de potencia.
- En la pregunta sobre el uso principal de ETAP, la mayoría (23/26) seleccionó correctamente "Análisis y diseño de sistemas de potencia" antes de la ponencia, lo que sugiere un conocimiento teórico previo.

- **Post-ponencia:**

- Todos los alumnos (26/26) consolidaron su comprensión, seleccionando la opción correcta ("Análisis y diseño de sistemas de potencia") sin errores.
- En otras preguntas técnicas (como componentes típicos, diagrama unifilar, métodos de flujo de carga), se observó una mejora en la precisión de las respuestas, con un 100% de aciertos en las opciones clave (ej.: "Generadores, transformadores y líneas de transmisión", "Representación simplificada con una línea para las tres fases", y "Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Desacoplamiento Rápido").

##### **2.5.4.2. Claridad y Utilidad del Manual**

###### **Evaluación de claridad:**

- La mayoría de los alumnos calificó el manual como "Muy claro" (24/26), "Claro" (1/26), con solo 1 alumno indicando "Neutral" y ninguno seleccionando opciones negativas.

**Operating Voltage %V / kV / Angle**

:

Los alumnos destacaron:

- Las herramientas de ETAP y su interfaz (ej.: "Introducción a la interfaz de usuario").
- Los pasos detallados para configurar el flujo de carga y analizar el diagrama unifilar.
- La simulación de escenarios operativos y la interpretación de resultados.

**Sugerencias de mejora:**

Solo 2 alumnos hicieron sugerencias:

- Incluir más ejemplos prácticos y explicaciones sobre interpretación de resultados (especialmente en casos de errores).
- Explicar mejor los resultados en el manual (ej.: "Falta explicar los resultados en el manual").

Dichas sugerencias ya fueron tomadas en cuenta y el manual ya incluye las correcciones.

**2.5.4.3. Impacto en el Aprendizaje**

• **Mejora en conocimientos técnicos:**

- Se evidenció un dominio consistente de conceptos clave post-ponencia, como el uso de bancos de capacitores para mejorar tensión (96% de aciertos) y la función del generador en modo swing (100% de aciertos en "Ajusta frecuencia y ángulo para estabilidad").
- La capacidad para visualizar resultados en ETAP también fue destacada, con 25/26 alumnos seleccionando la opción correcta ("Diagrama unifilar y Analizador de Resultados").

• **Aplicación práctica:**

- Los comentarios reflejaron que los alumnos valoraron la guía paso a paso para simular flujos de carga y analizar el sistema bajo diferentes condiciones (ej.: "Poder analizar cómo se comporta el sistema en diferentes situaciones fue lo más relevante").

#### **2.5.4.4. Conclusiones y Recomendaciones**

- **Fortalezas del manual:**
  - Claridad en las explicaciones y enfoque práctico.
  - Énfasis en herramientas clave de ETAP y su aplicación en casos reales.

#### **2.5.4.5. Impacto General**

El manual logró su objetivo principal: facilitar la comprensión y aplicación de ETAP en sistemas de potencia, con un alto nivel de satisfacción entre los alumnos. Las mejoras propuestas pueden aumentar su eficacia en futuras implementaciones, especialmente para alumnos con menos familiaridad técnica.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

La evaluación del manual de prácticas con ETAP se centró en medir su impacto en el aprendizaje y su utilidad percibida por un grupo de 26 estudiantes de Sistemas de Potencia I. Resaltan los siguientes puntos:

### 1. Adquisición de Conocimiento y Habilidades:

- **Conocimiento Previo vs. Posterior:** Se observó una mejora marcada en el conocimiento técnico específico de ETAP después de la ponencia y uso del manual.
- **Uso Principal de ETAP:** Si bien la mayoría (23/26) ya identificaba correctamente "Análisis y diseño de sistemas de potencia" como su uso principal antes de la ponencia (indicando conocimiento teórico), *todos* (26/26) consolidaron esta comprensión sin errores después.
- **Componentes y Representación:** Post-ponencia, el 100% identificó correctamente los componentes típicos (Generadores, Transformadores, Líneas) y la representación del diagrama unifilar.
- **Métodos de Flujo de Carga:** El 100% reconoció acertadamente los métodos implementados en ETAP (Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Desacoplamiento Rápido).
- **Conceptos Clave:** Se evidenció un alto dominio de conceptos fundamentales post-ponencia:
  - Uso de bancos de capacitores para mejorar tensión (96% de aciertos).
  - Función del generador Swing (Ajusta frecuencia y ángulo para estabilidad - 100% de aciertos).
- **Visualización de Resultados:** 25/26 alumnos identificaron correctamente las herramientas clave en ETAP ("Diagrama unifilar y Analizador de Resultados").
- **Análisis:** Estos resultados indican que el manual, combinado con la ponencia práctica, fue altamente efectivo para cerrar la brecha entre la teoría y la aplicación concreta del software. Los estudiantes no solo aprendieron a *usar* ETAP, sino que

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO - 2025

---

también consolidaron su comprensión de los *conceptos subyacentes* de los sistemas de potencia que el software permite analizar.

## 2. Claridad y Utilidad Percibida del Manual:

- **Claridad:** La evaluación fue extremadamente positiva.
  - 24/26 alumnos calificaron el manual como "**Muy claro**".
  - 1/26 lo calificó como "**Claro**".
  - 1/26 fue "**Neutral**".
  - *Ningún alumno* seleccionó opciones negativas ("Poco claro" o "Nada claro").
- **Utilidad:** Los alumnos destacaron aspectos específicos como los más útiles:
  - Introducción a la interfaz de usuario de ETAP.
  - Pasos detallados para configurar estudios (especialmente flujo de carga) y analizar el diagrama unifilar.
  - Capacidad para simular diferentes escenarios operativos.
  - Guía para interpretar los resultados de las simulaciones. Comentarios como "*Poder analizar cómo se comporta el sistema en diferentes situaciones fue lo más relevante*" reflejan el valor práctico encontrado.
- **Análisis:** El manual fue percibido como una guía accesible y práctica. Su fortaleza radica en su enfoque paso a paso y en permitir a los estudiantes explorar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones, lo que es crucial para la comprensión de los sistemas de potencia. La alta calificación en claridad es fundamental para su adopción como herramienta de autoaprendizaje.

## 3. Sugerencias de Mejora:

- Solo 2 alumnos proporcionaron sugerencias específicas, centradas en:
  1. **Incluir más ejemplos prácticos:** Específicamente, casos de estudio que aborden errores comunes durante la configuración o simulación y cómo solucionarlos.
  2. **Profundizar en la interpretación de resultados:** Se solicitó una explicación más detallada sobre cómo interpretar los resultados generados por ETAP, especialmente gráficos complejos o grandes volúmenes de datos. Un comentario directo fue "*Falta explicar los resultados en el manual*".

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT  
ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO - 2025**

---

Dichas sugerencias ya fueron tomadas en cuenta y el manual ya incluye las correcciones. Los resultados demuestran que el manual de prácticas con ETAP es una herramienta didáctica exitosa. Logró un impacto significativo en la comprensión conceptual y la habilidad práctica de los estudiantes para utilizar el software en análisis de sistemas de potencia. Su claridad y utilidad fueron ampliamente reconocidas, estableciendo una base sólida para su uso futuro. Las sugerencias de mejora, aunque limitadas, ofrecen oportunidades concretas para enriquecer aún más su contenido práctico y analítico.

## **CONCLUSIONES**

El proyecto logró cumplir satisfactoriamente sus objetivos específicos, culminando en un manual de prácticas para ETAP evaluado positivamente:

1. **Identificación y realización de prácticas:** Se identificaron y ejecutaron con éxito las prácticas fundamentales alineadas con los contenidos de Sistemas de Potencia I y II, utilizando el software ETAP. Estas incluyeron el modelado de componentes clave (generadores, transformadores, líneas, barras, cargas) y la realización de estudios esenciales como flujo de potencia y control de tensión/reactiva.
2. **Relevamiento de datos para modelado:** Se recopilaron y utilizaron datos reales pertinentes para modelar sistemas representativos. Para la Estación Capiatá se empleó información operativa detallada (transformadores, mímicos, consumos). Para el SIN, se implementó un modelo simplificado basado en datos técnicos disponibles, enfocándose en elementos críticos de la red de 220 kV y 500 kV.
3. **Redacción del manual ETAP:** Se elaboró un manual estructurado y detallado que guía al usuario paso a paso en el análisis y diseño de sistemas de potencia con ETAP. Cubre desde la configuración de componentes y estudios hasta la interpretación de resultados, proporcionando una herramienta práctica para estudiantes y docentes.
4. **Evaluación del manual con alumnos:** La evaluación con 26 alumnos de Sistemas de Potencia I demostró la efectividad del manual. Se observó una **mejora significativa** en la comprensión y capacidad de aplicación del software ETAP después de la presentación y uso del manual. Los alumnos consolidaron conocimientos teóricos previos, mostrando un dominio consistente de conceptos clave y funcionalidades del software.

El manual desarrollado cumple su propósito como herramienta didáctica efectiva para la enseñanza y aprendizaje del análisis de sistemas de potencia utilizando ETAP. Facilita la transición de la teoría a la práctica, permitiendo a los estudiantes modelar sistemas reales y realizar estudios fundamentales, como se evidenció en la evaluación positiva con los alumnos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] S. B. Mendieta Yepes, Manual para el uso de las herramientas básicas del software ETAP, Bogotá : Universidad de La Salle, 2015.
- [2] J. A. Hernández Giraldo and R. J. Loba Sánchez, ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA QUE FACILITE EL USO DEL SOFTWARE ETAP APLICÁNDOLO AL STN, BOGOTÁ, 2022.
- [3] C. A. Patel, K. R. Karangiya, V. M. Patel and M. D. Shah, Load Flow Analysis of IEEE-14 Bus using E-TAP software, Vadodara: International Conference on Current Research in Engineering, 2017.
- [4] ETAP, "Resource Center," [Online]. Available: <https://etap.com/resources>. [Accessed 2025 3 18].
- [5] ETAP Enterprise Solution, ONLINE HELP, 2021.
- [6] V. R. Zapata Enciso, Modelado del sistema interconectado de transporte eléctrico paraguayo, Sevilla, 2019.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **A.1. Programa de materia Sistemas de Potencia I**

##### **I. IDENTIFICACIÓN**

- A. Nombre de la Materia : Sistemas de Potencia I  
B. Código : KTIE 078  
C. Condición : OB  
D. Carrera : Ingeniería Electricidad  
E. Semestre : Noveno  
F. Curso : Quinto  
G. Requisitos : Conversión de Energía Eléctrica II  
H. Carga horaria : 05 horas semanales de 60 minutos  
I. Total : 80 horas  
OB: Obligatoria - OBC : Obligatoria Complementaria – OPT: Optativa

##### **II. FUNDAMENTACIÓN**

El estudio de sistemas de potencia eléctrico es de suma importancia para el educando de la carrera de ingeniería en electricidad porque esto permitirá familiarizarse con los problemas que se pueden encontrar el día a día en sus lugares de trabajos, obteniendo los conocimientos de esta materia dichos inconvenientes les resultará fácil resolverlo.

Esta materia se estará desarrollando una vez a la semana con una carga horaria de cinco horas semanales totalizando así ochenta horas semestrales, esta carga horaria es suficiente para el desarrollo total del contenido programático.

##### **III OBJETIVOS**

1. Conceptualizar los sistemas eléctricos de potencia.
2. Familiarizarse con las herramientas y técnicas de análisis de régimen permanente.
3. Conocer la representación por diagramas de sistemas eléctricos.
4. Aprender a modelar componentes de sistemas en régimen permanente.
5. Conocer los fundamentos básicos de los estudios de corto circuito.
6. Conocer los fundamentos básicos de los estudios de flujo de potencia.

#### **IV. CONTENIDO**

1. Conceptos básicos
  - 1.1 Introducción
  - 1.2 Notación de un subíndice
  - 1.3 Notación de dos subíndices
  - 1.4 Potencia en circuitos de C.A monofásicos
  - 1.5 Potencia compleja
  - 1.6 El triángulo de potencia
  - 1.7 Dirección del flujo de potencia
  - 1.8 Voltaje y corriente en circuitos trifásicos balanceados 0
  - 1.9 Potencia en circuitos trifásicos balanceados
  - 1.10 Cantidades en por unidad
  - 1.11 Cambio de base de cantidades en por unidad
  - 1.12 Ecuaciones de nodo
  - 1.13 El diagrama unifilar o de una línea
  - 1.14 Diagramas de impedancia y de reactancia
2. Transformadores
  - 2.1 El transformador ideal
  - 2.2 Bobinas magnéticamente acoplada
  - 2.3 El circuito equivalente de un transformador monofásico
  - 2.4 Impedancias en por unidad en circuitos de transformadores monofásicos
  - 2.5 Transformadores trifásicos
  - 2.6 Transformadores trifásicos: desfaseamiento y circuitos equivalentes
  - 2.7 El autotransformador
  - 2.8 Impedancias en por unidad de transformadores de tres devanados
  - 2.9 Transformadores de cambio de derivación y regulantes
  - 2.10 Ventajas de los cálculos en por unidad
3. La máquina síncrona
  - 3.1 Descripción de la máquina sincrónica

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

- 3.2 Generación trifásica
- 3.3 Reactancia sincrónica y circuitos equivalentes
- 3.4 Control de las potencias real y reactiva
- 3.5 Diagrama de capacidad de carga
- 3.6 El modelo de la máquina de dos ejes
- 3.7 Ecuaciones de voltaje: máquina de polos salientes
- 3.8 Efectos transitorios y sub transitorios
- 3.9 Corrientes de cortocircuito
- 4. Impedancia en serie de líneas de transmisión
  - 4.1 Tipos de conductores
  - 4.2 Resistencia
  - 4.3 Valores tabulados de resistencia
  - 4.4 Inductancia de un conductor debida al flujo interno
  - 4.5 Enlaces de flujo entre dos puntos externos a un conductor aislado
  - 4.6 Inductancia de una línea monofásica de dos conductores
  - 4.7 Enlaces de flujo de un conductor dentro de un grupo
  - 4.8 Inductancia de líneas de conductores compuestos
  - 4.9 El uso de tablas
  - 4.10 Inductancia de líneas trifásicas con espaciamento equilátero
  - 4.11 Inductancia de líneas trifásicas con espaciamento asimétrico
  - 4.12 Cálculos de inductancia para conductores agrupados
- 5. Capacitancia de líneas de transmisión
  - 5.1 Campo eléctrico de un conductor largo y recto
  - 5.2 Diferencia de potencial entre dos puntos debida a una carga
  - 5.3 Capacitancia de una línea de dos conductores
  - 5.4 Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento equilátero
  - 5.5 Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento asimétrico
  - 5.6 Efecto del suelo sobre la capacitancia de las líneas gg de trasmisión trifásicas
  - 5.7 Cálculos de capacitancia para conductores agrupados
  - 5.8 Líneas trifásicas con circuitos paralelos
- 6. Relación de voltaje y corriente de una línea de transmisión
  - 6.1 Representación de líneas

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

6.2 La línea de transmisión corta

6.3 La línea de longitud media

6.4 La línea de transmisión larga: solución de las ecuaciones diferenciales

6.5 La línea de transmisión larga: interpretación de las ecuaciones

6.6 La línea de transmisión larga: forma hiperbólica de las ecuaciones

6.7 El circuito equivalente de una línea larga

6.8 Flujo de potencia a través de una línea de transmisión

6.9 Compensación reactiva de líneas de transmisión

6.10 Transitorios en líneas de transmisión

6.11 Análisis transitorio: ondas viajeras

6.12 Análisis transitorio: reflexiones

6.13 Trasmisión en corriente directa

7. Modelo de admitancia y cálculo de redes

7.1 Admitancias de rama y de nodo

7.2 Ramas acopladas mutuamente en ***Ybarra***

7.3 Una red de admitancias equivalentes

7.4 Modificación de ***Ybarra***

7.5 La matriz de incidencia de la red y ***Ybarra***

7.6 El método de eliminación sucesiva

7.7 Eliminación de nodos (reducción de Kron)

7.8 Factorización triangular

7.9 Esparcimiento y ordenamiento casi-óptimo

8. El modelo de impedancias y cálculos de red

8.1 Las matrices de admitancia e impedancia de barra

8.2 Teorema de Thévenin y ***Z barra***

8.3 Modificación de una ***Z barra*** existente

8.4 Determinación directa de ***Z barra***

8.5 Cálculo de los elementos de ***Zbarra*** usando ***Ybarra***

8.6 Transformaciones sin variación de potencia

8.7 Ramas mutuamente acopladas en ***Zbarra***

## V. METODOLOGIA

---

30. Resoluciones de problemas en el pizarrón, en presencia del profesor, aplicando la teoría estudiada.

31. Formación de grupos para resolver problemas en clase.

32. Exposición.

33. Resolución de problemas con ayuda del software MATLAB.

## **A.2. Programa de materia Sistemas de Potencia II**

### **I. IDENTIFICACIÓN**

Nombre de la Materia : Sistemas de Potencia II

Código : KTIE084

Condición : OB

Carrera : Ingeniería en Electricidad

Semestre : Segundo

Curso : Quinto

Requisitos : Conversión de Energía Eléctrica II - Sistemas de Potencia I

Carga horaria : 5 horas semanales

Total : 80 horas

OB: Obligatoria - OBC: Obligatoria Complementaria – OPT: Optativa

### **II. FUNDAMENTACIÓN**

La presente materia pretende dar al estudiante base teórica necesaria de conceptos en el análisis de sistemas de potencia. A fin de que los mismos estén capacitados para analizar y evaluar los distintos modelados de sistemas de potencia.

### **III. OBJETIVOS**

Este curso preparará al estudiante para interpretar, analizar y evaluar los sistemas eléctricos de potencia, proveyéndoles con la información necesaria para realizar lo siguiente:

- Establecer criterios fundamentales para los diferentes modelos utilizados en los diseños de potencia.
- Control de tensión y potencia.

- Implementación apropiada para la operación económica en los sistemas eléctricos de potencia.
- Definir los conceptos de la confiabilidad y estabilidad, transitorias y permanentes.

#### **IV. CONTENIDO**

- 6. Modelamiento de Sistemas de Potencia.
  - 6.1 Máquinas síncronas.
  - 6.2 Generación Trifásica.
  - 6.3 Reactancia sincrónica y circuitos equivalentes.
  - 6.4 Impedancia sincrónica.
- 7. Control de tensión y potencia.
  - 7.1 Control de potencias real y reactiva.
  - 7.2 Modelo de máquina de dos ejes.
- 8. Operación económica de sistemas de potencia.
  - 8.1 Conceptos y definición.
  - 8.2 Distribución de carga entre unidades dentro de una central generadora.
  - 8.3 Control de carga y frecuencia.
- 9. Confiabilidad.
  - 9.1 Segmentos de mercado de transmisión emergente.
  - 9.2 Efectos de la pérdida en transmisión.
  - 9.3 Flujos de potencia óptimos.
- 10. Operación transitoria.
  - 10.1 Ondas viajeras en líneas monofásicas sin pérdidas.
  - 10.2 Líneas con pérdidas.
  - 10.3 Sobretensiones de sistemas de potencia.
  - 10.4 Sobre voltajes de switcheo.
  - 10.5 Sobre voltajes de frecuencia fundamental.
  - 10.6 Coordinación de aislamiento.
- 11. Estabilidad de sistemas de potencia.
  - 11.1 Dinámica del rotor y la ecuación de oscilación.
  - 11.2 Ecuación de potencia-ángulo.

## **V. METODOLOGIA**

- 1) Exposición teórica del profesor.
- 2) Presentaciones.
- 3) Resolución de problemas.
- 4) Trabajos de investigación.

## **ANEXO 2**

### **MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP**

AUTORA: ESTEFANY MARIEL GARCETE CARDOZO

#### **1. Descripción general del software ETAP**

##### **Diagrama unifilar y editores**

ETAP proporciona una interfaz de usuario totalmente gráfica para construir su diagrama unifilar. Hay muchas opciones de comando en la interfaz, incluyendo las siguientes:

- Añadir, eliminar, reubicar y conectar elementos gráficamente.
- Acercar o alejar.
- Desactivar o activar la cuadrícula.
- Cambiar el tamaño y la orientación de los elementos.
- Cambiar los símbolos.
- Ocultar o mostrar dispositivos de protección.
- Introducir propiedades.
- Bloquear y desbloquear propiedades de elementos.
- Establecer el estado de funcionamiento.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

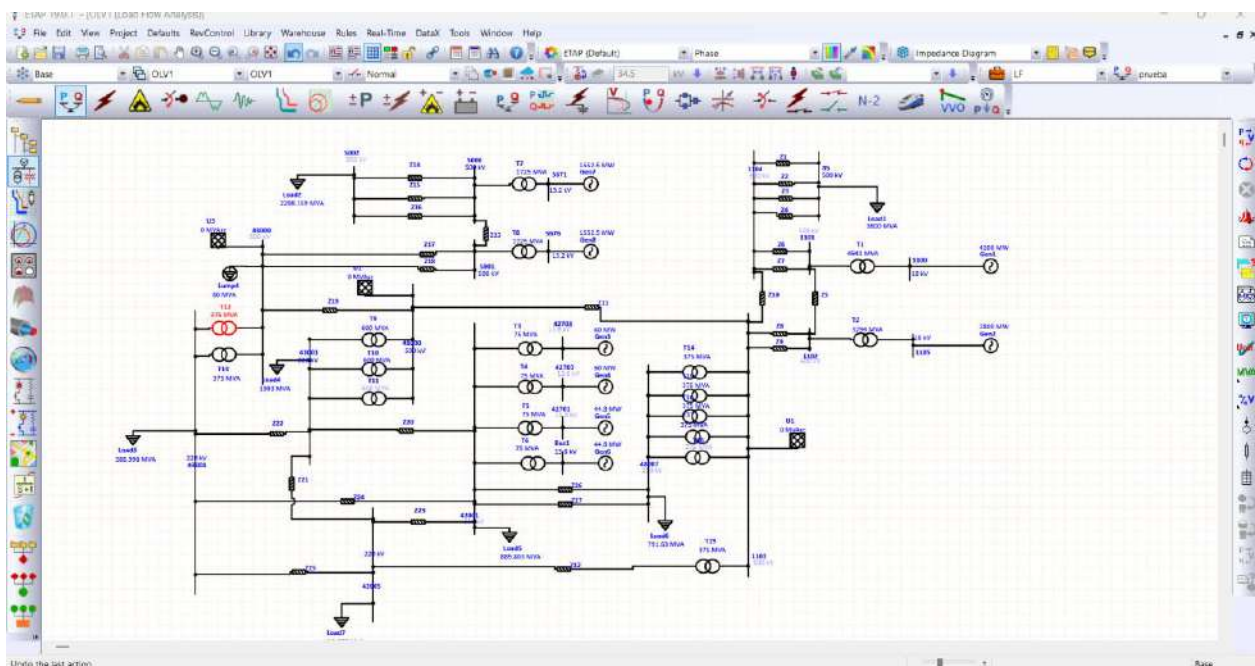
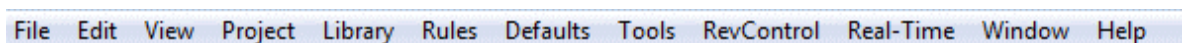


Figura 1. Interfaz del software ETAP.

El diagrama unifilar ETAP es una representación unifilar de un sistema eléctrico. El diagrama unifilar es el punto de partida de todos los estudios. Puede construir gráficamente su sistema eléctrico conectando los buses, ramas, motores, generadores y dispositivos de protección en cualquier orden desde la barra de herramientas Editar del diagrama unifilar. Puede conectar los elementos a los buses gráficamente o desde sus editores. Puede hacer doble clic en los elementos para abrir sus editores y editar las propiedades de ingeniería, como los valores nominales, los ajustes y las conexiones de carga.

## Barra de menú de diagrama unifilar



La barra de menú de unifilar se muestra cuando hay un unifilar activo. La barra de menú del unifilar contiene una lista de menús, cada uno de los cuales contiene una lista desplegable de comandos. Algunos de los comandos de menú también tienen submenús desplegables (una flecha apuntando a la derecha denota un submenú). Por ejemplo, puede seleccionar Proyecto, apuntar a Configuración y, a continuación, seleccionar el comando Tipo de datos.

### **Barra de herramientas del proyecto**

La barra de herramientas del Proyecto contiene botones que le permiten realizar accesos directos utilizando muchos comandos comúnmente utilizados en ETAP. Todos estos comandos se describen en detalle en diferentes partes de este manual (por ejemplo, el capítulo Barras de menú - sección Barra de menú del diagrama unifilar y el capítulo Interfaz gráfica de usuario del diagrama unifilar describen la interfaz gráfica de usuario del diagrama unifilar).



### **Barra de herramientas Modo**

Al hacer clic en el botón Diagrama unifilar (Sistemas de red) de la barra de herramientas Sistema, aparece la barra de herramientas Modo que contiene todos los módulos de estudio relacionados con el diagrama unifilar.

En general, ETAP tiene tres modos de operación bajo Sistemas de Red; Editar, Estudio de CA y Estudio de CC. El modo Estudio de CA consta de análisis como Flujo de carga, Cortocircuito, Aceleración del motor, Estabilidad transitoria y Coordinación de dispositivos de protección.



*Figura 2. Barra de modos con el modo de Flujo de Potencia (Load Flow).*

En general, ETAP tiene tres modos de funcionamiento: Edición, Estudio de CA y Estudio de CC. El modo Estudio de CA consiste en lo siguiente:

- Flujo de carga equilibrado
- Cortocircuito
- Arco eléctrico
- Arranque del motor
- Armónicos
- Estabilidad transitoria
- Protección y coordinación (ETAP Star)
- Flujo de carga desequilibrado

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

- Flujo de carga óptimo
- Análisis de confiabilidad
- Colocación óptima de condensadores
- Gestión de la secuencia de conmutación
- Análisis de contingencias

El modo de estudio de CC consta de análisis de flujo de carga de CC, cortocircuito de CC, arco eléctrico de CC y dimensionamiento de baterías.

## Modo Edición

El modo Editar le permite construir su diagrama unifilar, cambiar las conexiones del sistema, editar las propiedades de ingeniería, guardar su proyecto y generar informes de planificación en formatos de Crystal Reports. Las barras de herramientas de edición para los elementos de CA y CC se mostrarán a la derecha de la ventana de ETAP cuando este modo esté activo.



Figura 3. Barra de herramientas de modo con el modo de edición seleccionado.

Este modo proporciona acceso a funciones de edición que incluyen:

- Arrastrar y soltar elementos
- Conectar elementos
- Cambiar Ids
- Cortar, copiar y pegar elementos
- Mover elementos desde el contenedor del sistema
- Inserción de objetos OLE
- Cortar, Copiar y Pegar Objetos OLE
- Fusión de dos proyectos ETAP
- Ocultar/Mostrar Grupos de Dispositivos de Protección
- Rotación de Elementos
- Dimensionado de elementos
- Modificación de símbolos

- Edición de propiedades
- Ejecución del programa Administrador de informes

### **Barra de Elementos**

Esta barra contiene los elementos en AC, DC e Instrumentación de sistemas de potencia que se pueden modelar en Software ETAP.



*Figura 4. Barra de elementos AC y DC.*

### **Para añadir elementos en la vista de diagrama unifilar**

Haga clic en cualquiera de los elementos de las barras de herramientas Edición CA o Edición CC. El puntero del ratón cambia al icono del botón del elemento.

En la vista unifilar, mueva el puntero a la posición deseada y haga clic. El elemento se añade a la vista unifilar.

### **Para conectar elementos en la vista unifilar**

Para este ejemplo, añade un bus y un transformador a la vista unifilar haciendo lo siguiente:

- 1- Mueva el puntero del ratón a la patilla superior del transformador para que aparezca un cuadrado rojo.
- 2- Haga clic con el botón izquierdo del ratón y arrastre el transformador hasta el bus para que éste aparezca en rojo.
- 3- Suelte el botón del ratón. La conexión se ha completado.

### **Modos de estudio**

Los modos de estudio le permiten crear y modificar casos de estudio, realizar análisis del sistema y ver informes y gráficos de salida. Cuando un modo de estudio está activo (seleccionado), la barra de herramientas del estudio seleccionado aparece en la parte derecha de la pantalla.

Puede ejecutar estudios, transferir datos y cambiar las opciones de visualización haciendo clic en los botones de la barra de herramientas Estudio. A modo de ejemplo, a continuación, se describe el **Modo de Análisis de flujo de carga**.

### **Análisis de flujo de carga**

El módulo de análisis de flujo de carga ETAP calcula las tensiones de bus, los factores de potencia de las ramas, las corrientes y los flujos de potencia en todo el sistema eléctrico. ETAP permite fuentes de energía oscilantes, reguladas por tensión y no reguladas con múltiples redes eléctricas y conexiones de generadores. Es capaz de realizar análisis tanto en sistemas radiales como de bucle. ETAP permite seleccionar entre varios métodos diferentes para lograr la mejor eficacia de cálculo.

Este capítulo define las definiciones y explica el uso de las diferentes herramientas que necesitará para realizar estudios de flujo de carga. También se proporcionan los fundamentos teóricos de los diferentes métodos de cálculo del flujo de carga.

La sección Barra de herramientas de flujo de carga explica cómo puede iniciar un cálculo de flujo de carga, abrir y ver un informe de salida o seleccionar opciones de visualización. La sección Editor de casos de estudio de flujo de carga explica cómo crear un nuevo

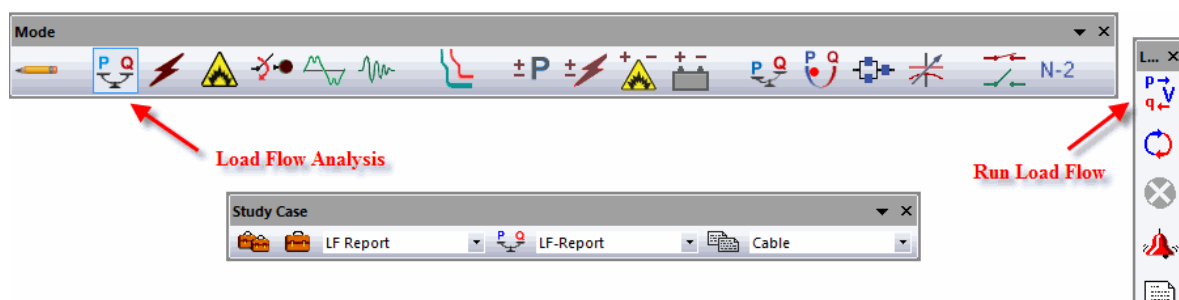
# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

caso de estudio, qué parámetros son necesarios para especificar un caso de estudio y cómo configurarlos. La sección Opciones de visualización explica qué opciones están disponibles para visualizar algunos parámetros clave del sistema y los resultados de salida en el diagrama unifilar, y cómo configurarlas. La sección Métodos de cálculo del flujo de carga muestra formulaciones de diferentes métodos de cálculo del flujo de carga. En esta sección también se incluyen comparaciones sobre su índice de convergencia, la mejora de la convergencia en función de distintos parámetros y configuraciones del sistema, y algunos consejos para seleccionar un método de cálculo adecuado. La sección Datos necesarios para los cálculos describe qué datos son necesarios para realizar los cálculos del flujo de carga y dónde introducirlos. La sección Informe de salida del estudio de flujo de carga ilustra y explica los informes de salida y su formato. Por último, el Analizador de resultados de flujo de carga permite visualizar los resultados de varios estudios en una pantalla para poder analizar y comparar los distintos resultados.

## Trabajar en el modo Análisis del flujo de carga

1- Vaya al Modo de Flujo de Carga haciendo clic en el botón Análisis de Flujo de Carga de la barra de herramientas Modo.

**Nota:** La barra de herramientas Flujo de carga se muestra ahora en el lado derecho de ETAP. Además, la barra de herramientas superior se convierte en la barra de herramientas Caso de estudio.



2- Haga clic en el botón Ejecutar flujo de carga de la barra de herramientas Flujo de carga.

Los resultados del estudio se mostrarán en el diagrama unifilar.

3- Revise los resultados de los cálculos y familiarícese con el tipo de información que se muestra en el diagrama unifilar.

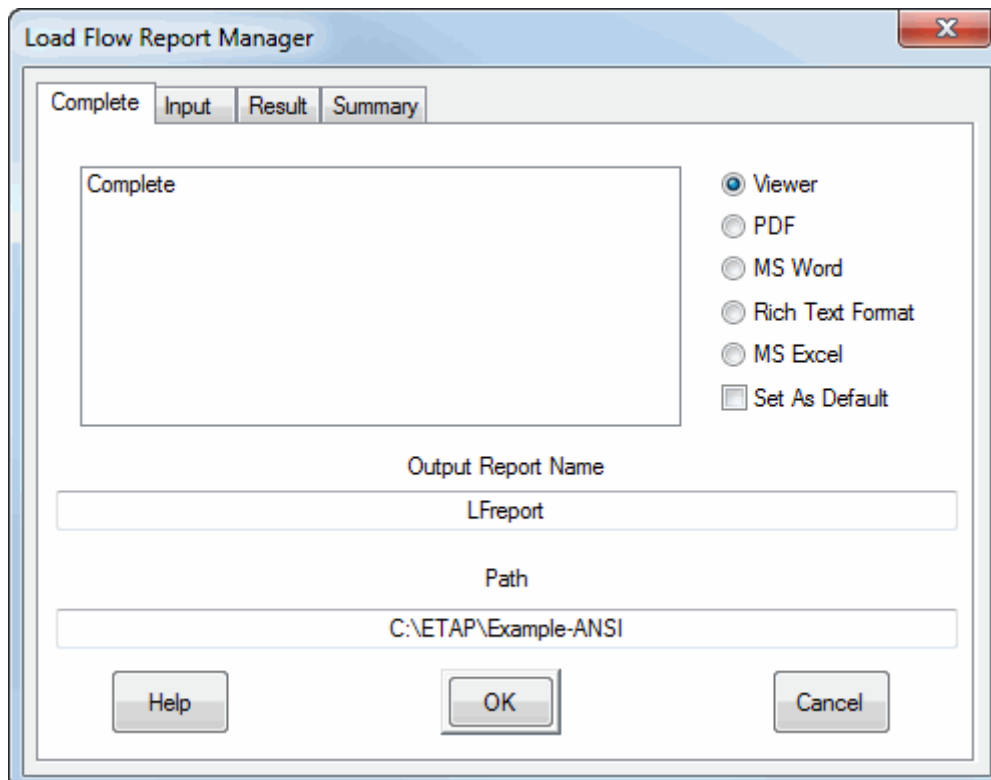
## MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

4- Haga clic en el botón Opciones de visualización y explore la variedad de opciones disponibles para los resultados visualizados.

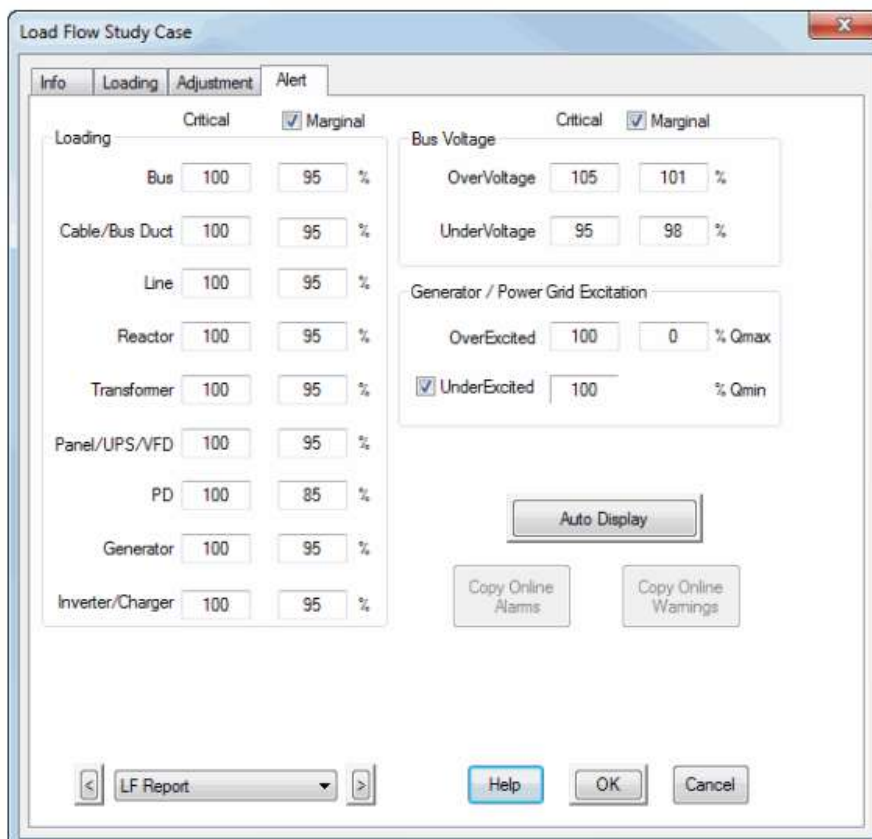
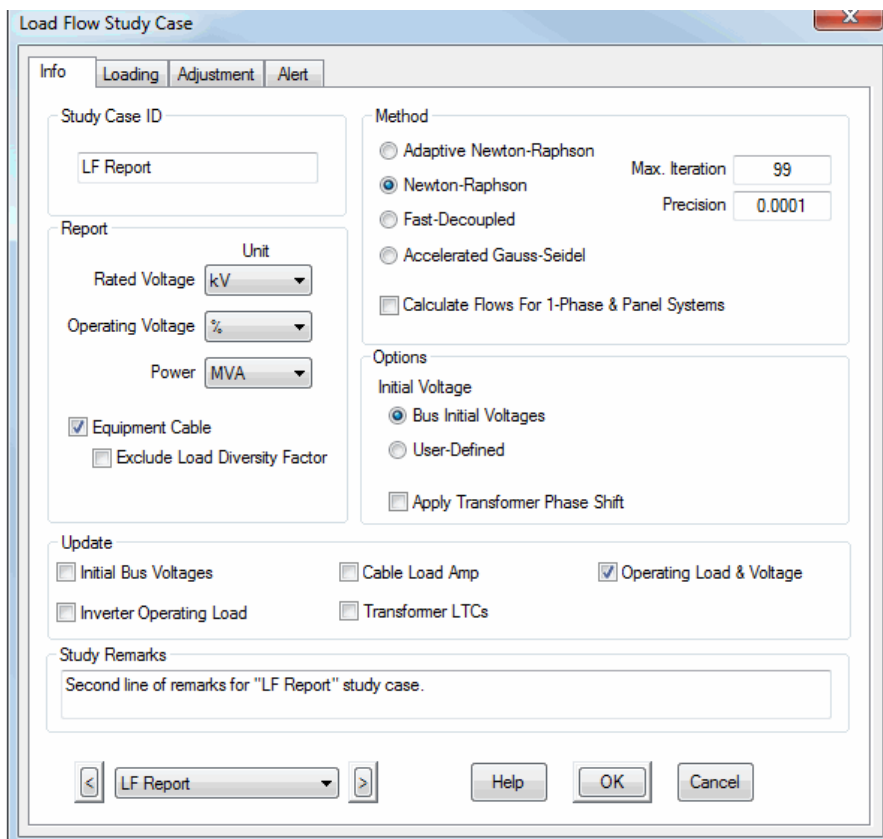
5- Haga clic en el botón Alerta para visualizar las violaciones de los límites críticos y marginales del informe de salida seleccionado.

6- Haga clic en el botón Administrador de informes para ver o imprimir cualquier parte del informe de salida.



7- Haga clic en el botón Editar caso de estudio de la barra de herramientas Caso de estudio y estudie los parámetros de solución y los ajustes de alerta disponibles para el análisis del flujo de carga.

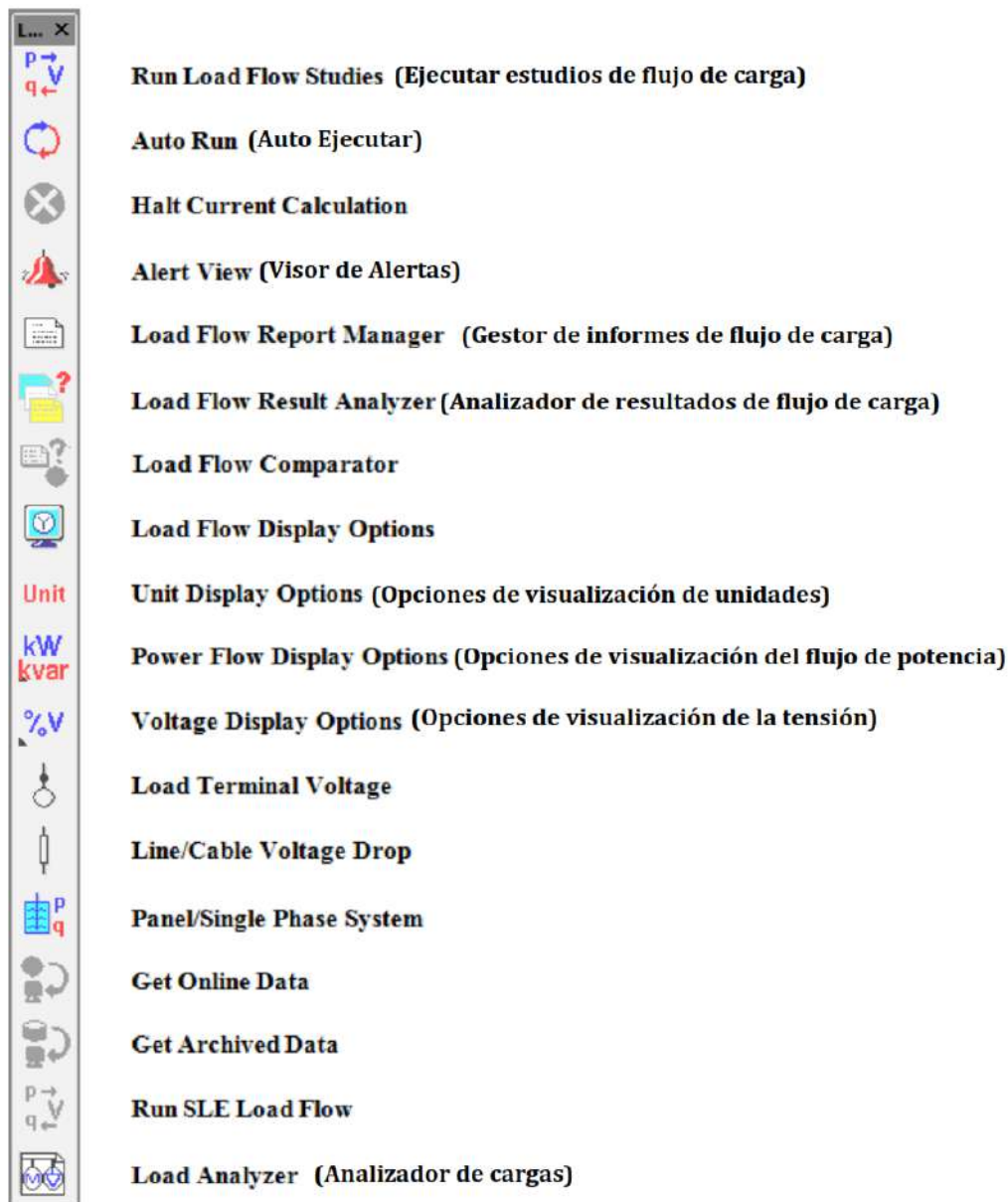
# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO



Después de ejecutar el flujo de carga, los resultados se muestran en el diagrama unifilar.

## Barra de herramientas de Flujo de carga

La Barra de Herramientas de Flujo de Carga aparecerá en la pantalla cuando se encuentre en el modo de Estudio de Flujo de Carga.



### Run Load Flow Studies (Ejecutar estudios de flujo de carga)

Seleccione un caso de estudio en el Editor de casos de estudio. A continuación, haga clic en el icono Ejecutar estudio de flujo de carga para realizar un estudio de flujo de

carga. Aparecerá un cuadro de diálogo para especificar el nombre del informe de salida si el nombre del archivo de salida está configurado como Preguntar. Los resultados del estudio aparecerán en el diagrama unifilar y en el informe de salida.

### **Auto Run (Ejecución automática)**

Haga clic para activar o desactivar la ejecución automática. Cuando la Autoejecución está activada, cualquiera de las siguientes acciones ejecutará un estudio de flujo de carga:

- Un PD ha cambiado su estado.
- Un elemento ha cambiado sus propiedades.
- Se ha modificado el caso del estudio de flujo de carga.

### **Halt Current Calculation (Detener el cálculo de la corriente)**

El botón Detener está normalmente en gris. Cuando se ha iniciado un cálculo de Flujo de Carga, este botón se activa y muestra una señal de stop roja. Al hacer clic en este botón se detendrá el cálculo.

### **Alert View (Vista de alertas)**

Después de realizar un estudio de flujo de carga, puede hacer clic en este botón para abrir la Vista de alertas, que enumera todos los equipos con infracciones críticas y marginales en función de los ajustes del caso de estudio.

### **Load Flow Report Manager (Gestor de informes de flujo de carga)**

Los informes de salida del flujo de carga se proporcionan en forma de Crystal Report. El Gestor de informes ofrece cuatro páginas (Completo, Entrada, Resultado y Resumen) para visualizar las diferentes partes del informe de salida para Crystal Reports. Los formatos disponibles para Crystal Reports se muestran en cada página del Gestor de informes para estudios de flujo de carga. Puede ver el informe en el visor de Crystal Reports o guardarlo en formato PDF, MS Word, Rich Text Format o Excel. Si desea que esta selección sea la predeterminada para los informes, haga clic en la casilla de verificación Establecer como predeterminado.

### **Load Flow Result Analyzer (Analizador de resultados de flujo de carga)**

El Analizador de resultados de flujo de carga le permite ver los resultados de varios estudios en una pantalla para que pueda analizar y comparar los distintos resultados.

### **Load Flow Comparator (Comparador de flujo de carga)**

Cuando ETAP Real-Time está configurado y después de ejecutar un estudio de Flujo de carga con datos en línea, puede pulsar este botón para abrir la vista Comparador de flujo de carga. Muestra una comparación de todos los valores de funcionamiento del sistema entre la salida de ETAP en tiempo real y los cálculos de Flujo de carga.

### **Load Flow Display Options (Opciones de visualización del flujo de carga)**

Los resultados de los estudios de flujo de carga se muestran en el diagrama unifilar. Para modificar el aspecto de estos resultados, haga clic en el icono Opciones de visualización del flujo de carga. Para obtener más información, consulte Opciones de visualización del flujo de carga.

### **Unit Display Options (Opciones de visualización de unidades)**

Haga clic para activar/desactivar las unidades en la visualización OLV.

### **Power Flow Display Options (Opciones de visualización del flujo de potencia)**

Haga clic y mantenga pulsado para seleccionar las opciones de visualización del flujo de potencia.



### **Voltage Display Options (Opciones de visualización de la tensión)**

Pulse y mantenga pulsado para seleccionar las opciones de visualización de la tensión.



### **Load Terminal Voltage (Tensión del terminal de carga)**

Haga clic para mostrar la tensión del terminal de carga.

### **Line/Cable Voltage Drop (Caída de tensión de línea/cable)**

Haga clic para visualizar la caída de tensión de línea o de cable.

### **Panel/Single Phase System (Panel/Sistema monofásico)**

Haga clic para ver los resultados del panel o del sistema monofásico.

### **Get Online Data (Obtener datos en línea)**

Cuando ETAP Real-Time está configurado y la presentación Sys Monitor está en línea, puede traer datos en tiempo real a su presentación fuera de línea y ejecutar un Flujo de carga pulsando este botón. Observará que las cargas operativas, las tensiones de barras y el editor de casos de estudio se actualizarán con los datos en línea.

### **Get Archived Data (Obtener datos archivados)**

Cuando ETAPS Playback está configurado y cualquier presentación está en modo Playback, puede traer estos datos a su presentación y ejecutar un Flujo de Carga presionando este botón. Observará que las cargas operativas, las tensiones de barras y el editor de casos de estudio se actualizarán con los datos de reproducción.

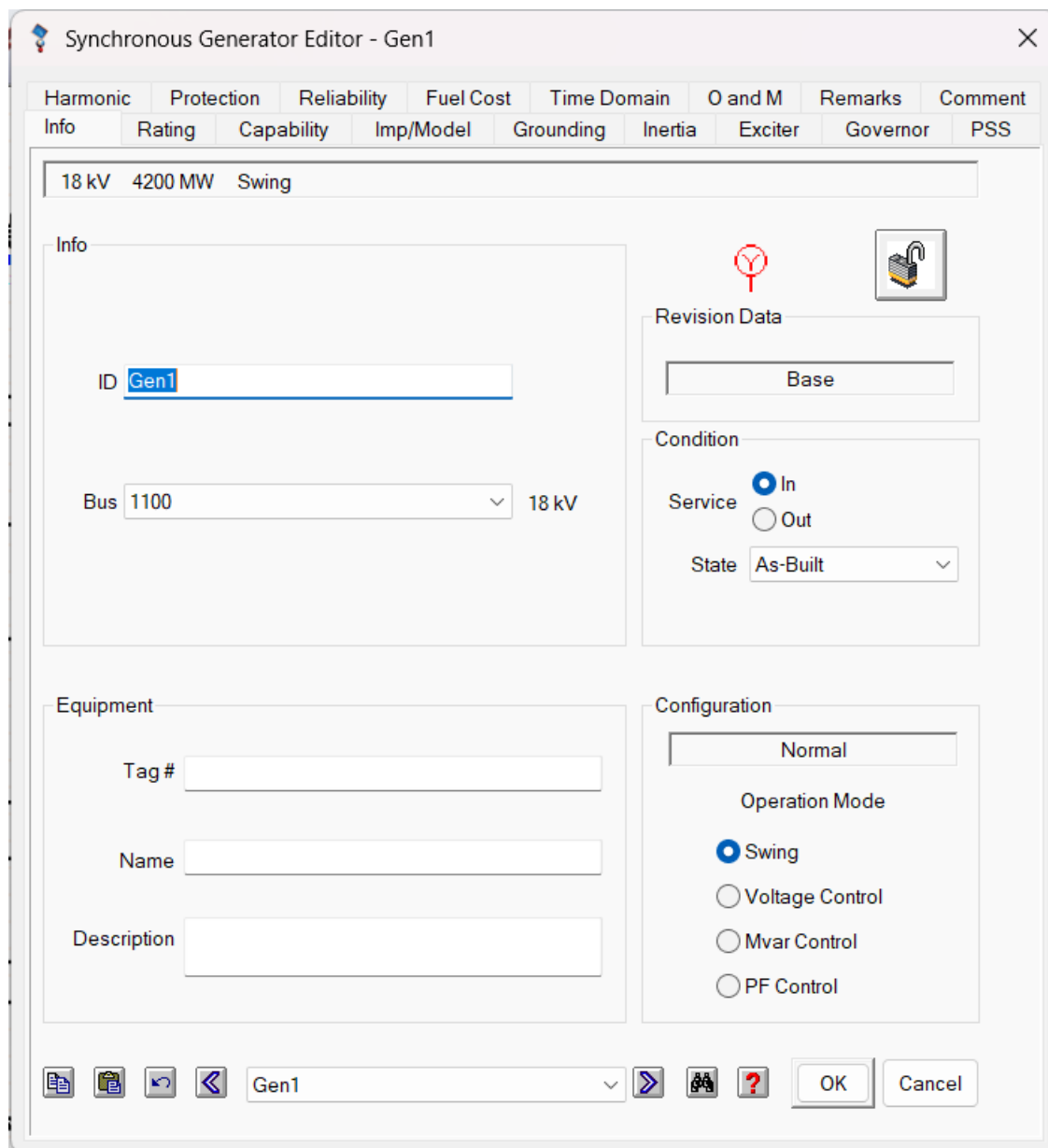
### **Load Analyzer (Analizador de carga)**

La herramienta Analizador de carga y sus informes asociados están diseñados para realizar informes de programación de carga de los modelos ETAP. Este módulo permite al usuario reportar cargas de elementos conectados multinivel en un sistema directamente (llamadas Cargas Conectadas), o aplicando diferentes factores multiplicadores (llamadas Cargas de Operación).

### **Editor de Generador Síncrono**

En la página de información, especifique el ID del generador síncrono, el ID del bus conectado, si está en servicio o fuera de servicio, el nombre y la descripción del equipo y el tipo de generador síncrono.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO



## Condition (Condición)

### Service (Servicio)

La condición de funcionamiento puede establecerse haciendo clic en los botones de opción En servicio o Fuera de servicio. Las propiedades de ingeniería dentro del editor de un elemento Fuera de servicio se pueden editar como un elemento En servicio; sin embargo, un elemento Fuera de servicio no se incluirá en ningún estudio del sistema. Cuando se activa la comprobación de continuidad, un elemento Fuera de Servicio se

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

codifica automáticamente con el color de desenergizado (gestor de temas). El color por defecto para un elemento fuera de servicio es gris.

Nota: La opción Dentro/Fuera de Servicio es independiente del estado de configuración. Por lo tanto, se puede configurar una rama para que esté En Servicio en los Datos Base y Fuera de Servicio en los Datos de Revisión.

## **State (Estado)**

El estado se utiliza para describir el estado de servicio de un elemento. Ciertos estados tienen un estado de servicio flexible como As-Built, New, Future, Moved y Modified pueden estar tanto In como Out of Service. Algunos estados tienen un estado de servicio fijo, como Retirado, Almacén, Abandonado, Taller de reparaciones y Otros, que están fuera de servicio.

## **Equipment (Equipo)**

### **Tag # (Etiqueta #)**

Permite al usuario introducir la etiqueta del alimentador en este campo, utilizando un máximo de 25 caracteres alfanuméricos.

### **Name (Nombre)**

Permite al usuario introducir el nombre del equipo, utilizando un máximo de 50 caracteres alfanuméricos.

### **Description (Descripción)**

Permite introducir la descripción del equipo con un máximo de 100 caracteres alfanuméricos.

### **Configuration (Configuración)**

En ETAP, el modo de funcionamiento del generador síncrono depende de la configuración. Esto proporciona la flexibilidad de utilizar múltiples configuraciones para tener en cuenta diferentes modos de funcionamiento. Consulte la sección Configuración

de estado en el capítulo Descripción general para obtener información sobre la creación de nuevas configuraciones.

### **Operation Mode (Modo de operación)**

El modo de funcionamiento u operación del generador y sus valores nominales se muestran en la parte superior del editor.

### **Swing (Oscilación)**

Para estudios de flujo de carga, un generador oscilante asumirá la holgura de los flujos de potencia en el sistema, es decir, la magnitud de tensión y el ángulo de los terminales del generador permanecerán en los valores de funcionamiento especificados.

Para los estudios de aceleración del motor, se realiza un estudio de flujo de carga inicial para determinar las condiciones iniciales. Para el flujo de carga inicial, se representa un generador oscilante como una fuente infinita. En el tiempo  $0+$ , el generador se modela como una fuente de tensión detrás de su impedancia transitoria de eje directo.

Todos los generadores se modelan dinámicamente a partir del tiempo  $0+$  en los estudios de estabilidad transitoria. Una de las máquinas oscilantes (redes eléctricas o generadores) se selecciona como máquina de referencia para todo el sistema.

Debe haber al menos una máquina oscilante (red eléctrica o generador síncrono) conectada a cualquier subsistema aislado en el diagrama unifilar. Puede haber varias máquinas pendulares conectadas a cualquier bus del sistema.

Cualquier elemento que esté conectado a una máquina oscilante se muestra como elemento energizado en el diagrama unifilar y se incluirá en los estudios. Además, la tensión nominal (kV) de un generador oscilante se utiliza como kV de base del bus al que está conectado el generador. Los kV de base del resto del sistema se calculan a partir de las relaciones de transformación. Para los estudios de estabilidad transitoria, un generador oscilante se convierte en la máquina de referencia del sistema, es decir, el ángulo de la fuente de tensión interna del generador se fija en cero, y el ángulo de tensión de todas las máquinas síncronas del sistema será relativo a esta máquina de referencia.

### **Voltage Control (Control de tensión)**

Un generador puede seleccionarse como sistema de control de tensión (regulado), lo que significa que el generador ajustará su salida var para controlar la tensión. Por lo tanto, la magnitud de la tensión terminal del generador, la potencia real de funcionamiento (MW) y el suministro de potencia reactiva mínimo y máximo permitido (Max Q y Min Q) deben introducirse para los generadores de control de tensión. Un generador de control de tensión significa que el generador está en carga base (modo droop con MW fijos) con un regulador automático de tensión (AVR) que controla la excitación de campo para un funcionamiento a tensión constante. Durante los estudios de flujo de carga, si el Mvar calculado del generador queda fuera de los límites de capacidad de Mvar del generador (límite Max Q o Min Q), el valor del Mvar se fijará igual al límite y el modo del generador cambiará a control de Mvar.

### **Mvar Control (Control Mvar)**

Con esta opción puede especificar la cantidad de MW fijos y la generación de Mvar en la página Calificación del Editor de generadores síncronos. Un generador con control de Mvar significa que el generador tiene carga base (modo droop con MW fijos) con una excitación de campo fija (sin acción del AVR).

### **PF Control (Control PF)**

En este modo, el regulador está funcionando en modo Droop, con carga base; por lo tanto, la salida de MW está fijada al ajuste de MW. Por otro lado, el regulador de excitación se ajusta al ajuste del factor de potencia. Los ajustes de MW y %PF del generador deben introducirse en la página Calificación para la categoría de generación seleccionada cuando se modela en este modo.

### Imp/Model (Impedancia / Modelo)

### Impedance (Impedancia)

#### Xd

Es la reactancia subtransitoria del eje directo en porcentaje (valor saturado, base de la máquina)

**$X_d''/R_a$**

Es la relación  $X/R$  del inducido ( $X_d''/R_a$ ). Para los estudios de cortocircuito ANSI, este valor se utiliza tanto para redes de  $\frac{1}{2}$  ciclo como de  $1\frac{1}{2}$ -4 ciclos.

**R<sub>a</sub> (%)**

Es la resistencia del inducido en porcentaje (base de la máquina).

**R<sub>a</sub> (Ohm)**

Es la resistencia del inducido en ohmios.

**X<sub>2</sub>**

Es la reactancia de secuencia negativa en porcentaje (base de la máquina). Este valor se utiliza para el análisis de armónicos, cortocircuitos y estudios de flujo de carga desequilibrado.

**X<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>**

Es la relación  $X/R$  de secuencia negativa.

**R<sub>2</sub> (%)**

Es la resistencia de secuencia negativa en porcentaje (base de la máquina).

**R<sub>2</sub> (Ohm)**

Es la resistencia de secuencia negativa en ohmios.

**X<sub>0</sub>**

Es la reactancia de secuencia cero en porcentaje (base de la máquina). Este valor se utiliza para faltas desequilibradas según los estudios ANSI sobre cortocircuitos.

**X<sub>0</sub>/R<sub>0</sub>**

Es la relación  $X/R$  de secuencia cero.

**R<sub>0</sub> (%)**

Es la resistencia de secuencia cero en porcentaje (base de la máquina).

### **R0 (Ohm)**

Es la resistencia de secuencia cero en ohmios.

### **Rdc (%)**

Es la resistencia de CC del devanado del estator en porcentaje (base de la máquina), utilizada para los cálculos de cortocircuito GOST.

### **Rdc (ohmios)**

Se trata de la resistencia de CC del devanado del estator en ohmios, utilizada para los cálculos de cortocircuito de GOST.

### **X/R**

Es la relación X/R del inducido ( $X''/R_a$ ). Para los estudios de cortocircuito ANSI, este valor se utiliza tanto para redes de  $\frac{1}{2}$  ciclo como de  $1\frac{1}{2}$ -4 ciclos.

### **H**

Muestra la inercia total de la máquina desde la página Inercia.

## **Editor de impedancia**

### **Model (Modelo)**

#### **Balanced (Equilibrado)**

Si se selecciona Balanceado en el grupo Modelo, aparecen los grupos Impedancia y Unidades.

Nota: Seleccione esta opción para modelar la impedancia como equilibrada; en otras palabras, la impedancia será igual para las tres fases.

Impedance Editor - Z1

Info Rating Reliability Remarks Comment

Base: 500 kV 100 MVA Balanced

Info

ID Z1

From 85 500 kV

To 1104 500 kV

Revision Data

Base

Equipment

Tag #

Name

Description

Condition

Service  In  Out

State As-Built

Connection

3 Phase  1 Phase

Z1 OK Cancel

### Unbalanced (Desequilibrado)

Si se selecciona Desequilibrado en el grupo Modelo, el editor muestra los grupos R, X, Y y Unidades.

Nota: Seleccione esta opción para modelar la impedancia como desequilibrada; en otras palabras, la impedancia en cada fase es diferente. La selección de esta opción permite expresar la impedancia de la rama en el dominio de la fase o de la secuencia. Estas opciones están disponibles en el grupo Formato de datos.

Impedance Editor - Z1

Base: 0.48 kV 100 MVA Unbalanced Phase Domain

Model

Balanced

Unbalanced

Data Format

Phase Domain

Sequence Domain

R

	A	B	C
A	0.01	0.04	0.002
B	0.002	0.01	0.015
C	0.015	0.002	0.01

X

	A	B	C
A	1	2	1.2
B	2	1	2
C	1.2	1.5	1

Y

	A	B	C
A	0.005	0.1	0.003
B	0.1	0.005	0.005
C	0.003	0	0.005

Units

Percent Base kV 0.48

Ohms Base MVA 100

Z1

OK Cancel

## Modelo equilibrado

### Impedance (Impedancia)

#### Resistencias de secuencia positiva y cero (R y R0)

Introduzca las resistencias de secuencia positiva y homopolar como porcentaje del elemento de circuito en el MVA base especificado o en ohmios. La resistencia de secuencia cero sólo se utiliza para los cálculos de corriente de defecto desequilibrada. Nota: Cuando se especifican estos valores, ETAP utilizará los kV nominales de los buses conectados como base; sin embargo, este valor de voltaje puede ser editado en el Editor de Impedancia. Cuando sea necesario, ETAP convertirá estos valores para que coincidan con las tensiones base que ha calculado internamente. ETAP utiliza las

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

relaciones de transformación para determinar las tensiones de base en sus análisis de flujo de carga, cortocircuito, armónicos, arranque de motores y estabilidad transitoria.

## **Reactancias de secuencia positiva y homopolar (X y X0)**

Introduzca las reactancias de secuencia positiva y homopolar como porcentaje del elemento del circuito en el MVA base especificado. La reactancia de secuencia cero se utiliza sólo para cálculos de corriente de falla desequilibrada. Nota: Cuando se especifican estos valores, ETAP utilizará los kV nominales de los buses conectados como base, sin embargo, este valor de voltaje puede ser editado en el Editor de Impedancia. Cuando sea necesario, ETAP convertirá estos valores para que coincidan con las tensiones base que ha calculado internamente. ETAP utiliza las relaciones de vueltas del transformador para determinar las tensiones de base en sus análisis de flujo de carga, cortocircuito, armónicos, arranque de motores y estabilidad transitoria.

Tenga en cuenta que ETAP duplica automáticamente los valores de Impedancia R & X para cálculos monofásicos para representar tanto los conductores de avance como los de retorno.

## **Susceptancia de secuencia positiva y cero (Y e Y0)**

Introduzca las susceptancias de carga (capacitivas) de secuencia positiva y homopolar como porcentaje del elemento del circuito en el MVA base especificado. La reactancia de secuencia cero sólo se utiliza para los cálculos de corriente de defecto desequilibrada. Si  $Y > 0$ , el elemento del circuito se trata como un equivalente pi, con la mitad de la susceptancia de carga conectada al neutro al final del circuito. Si  $Y = 0$ , el elemento del circuito se trata como una impedancia simple. Estas susceptancias deben introducirse a la frecuencia de funcionamiento del sistema, que se especifica para este fichero de datos.

## **Units (Unidades)**

### **Percent/Ohms and Base kV/MVA (Porcentaje/Ohmios y Banco kV/MVA)**

Esta función alterna entre unidades porcentuales y óhmicas para los valores de impedancia. Al seleccionar la unidad porcentual, los valores de impedancia deben introducirse en un valor porcentual con los kV y MVA de base especificados en este

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

editor. Si se selecciona una unidad óhmica, la resistencia, reactancia y susceptancia deben introducirse en ohmios reales para la rama de impedancia.

## Editor de transformadores de 2 devanados

En la página *Rating*, especifique la Clasificación del transformador de 2 devanados, la refrigeración, la instalación y los datos de alerta.

The screenshot shows the '2-Winding Transformer Editor - T12' window with the 'Rating' tab selected. The interface includes the following sections and data:

- Summary:** 375 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C, 500 220 kV
- Voltage Rating:**
  - Prim. kV: 500, FLA: 433, Nominal Bus kV: 500
  - Sec. kV: 220, FLA: 984.1, Nominal Bus kV: 220
  - Other 65
- Power Rating:**
  - MVA: 375 (Rated), 375 (Derated)
  - % Derating: 0
- Alert - Max:**
  - MVA: 375
  - Selected:  Derated MVA,  User-Defined
- Installation:**
  - Altitude: 1000 m
  - Ambient Temp.: 30 °C
- Type / Class:**
  - Type: Liquid-Fill, Sub Type: Other, Class: Other, Temp. Rise: 65
- MFR:** [Empty field]
- Footer:** T12, OK, Cancel

## **Rating (Clasificación)**

### **Prim & Sec kV**

Introduzca los valores nominales de tensión primaria y secundaria del transformador de 2 devanados en kilovoltios.

Para el (3) transformador monofásico, sólo se muestran los dos campos de los valores nominales de tensión del transformador trifásico equivalente. Las tensiones nominales primaria y secundaria son las tensiones medias en los bornes de los tres transformadores monofásicos. Si los tres transformadores monofásicos están conectados en triángulo, la tensión nominal trifásica equivalente es el promedio de las tensiones nominales de los tres transformadores monofásicos. Si los tres transformadores monofásicos están conectados en estrella, la tensión nominal trifásica equivalente es 1,732 veces la media de las tensiones nominales de los tres transformadores monofásicos.

**Nota:** Cuando un transformador se conecta a un bus, el kV del devanado (si es igual a cero) se establece igual al kV nominal del bus. ETAP utiliza la tensión en el sistema de oscilación con el número más bajo como tensión base y calcula las otras tensiones base utilizando las relaciones del transformador. ETAP mostrará un mensaje de error cuando detecte bases de tensión inconsistentes en sistemas paralelos o en bucle durante el análisis del sistema.

Si hay transformadores en paralelo en un sistema que tiene diferentes relaciones de tensión, cambie la relación de tensión de uno de los transformadores para que sus relaciones de tensión sean iguales. Al mismo tiempo, se requiere un ajuste de tomas ficticio, utilizando la nueva relación de tensiones para corregir su relación de vueltas. Una elección lógica sería el devanado del transformador con el valor nominal de kV menos común en el sistema.

Nota: En estas condiciones, se esperan corrientes circulantes.

Como ejemplo, considere los dos transformadores en paralelo del siguiente diagrama. Para modelar los transformadores en ETAP, ajuste la toma del segundo transformador de forma que la relación de transformación resultante sea igual a la del otro transformador. Si un transformador tiene una tensión nominal de 13,8-4,16 kV y el

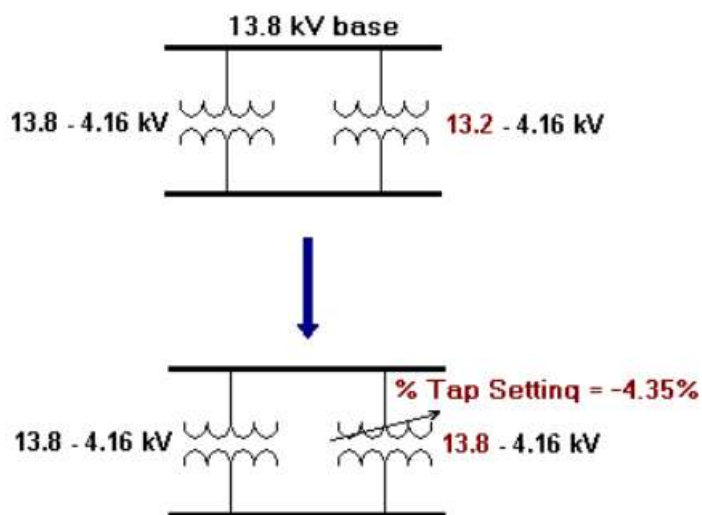
## MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

segundo transformador tiene una tensión nominal de 13,2-4,16 kV, los datos de ambos transformadores deben introducirse como 13,8-4,16 kV (mismas relaciones de transformación). Para corregir la relación de transformación del segundo transformador, especifique un ajuste de toma que sea igual a la capacidad real de kV dividida por la nueva capacidad de kV, como se muestra a continuación.

$$\% \text{ Tap} = [ ( 13.2/13.8 ) - 1.0 ] * 100 = -4.35 \%$$

Este transformador debe modelarse con una derivación negativa del 4,35% en el primario.



Recuerde que una toma positiva tiende a reducir la tensión de funcionamiento del bus secundario, mientras que una toma negativa la aumenta. En este caso, la relación de vueltas del transformador modelada en ETAP es mayor que la relación de vueltas real, sin el ajuste de toma introducido. Debido a que el bus secundario operaría a una tensión, utilice un tap negativo para elevar la tensión en el bus secundario. Utilice esta regla para determinar si la corrección de tomas debe ser positiva o negativa.

Nota: si este transformador tiene un ajuste de toma real del 2,5%, este valor debe añadirse a la toma antinomial de -4,35%, es decir,  $-4,35\% + 2,5\% = -1,85\%$ .

### FLA

Muestra los amperios a plena carga del devanado primario y secundario correspondientes a las potencias nominal menor y mayor.

### **Bus kVnom**

Muestra los kV nominales del bus de los terminales primario y secundario conectados.

### **Power Rating (Potencia nominal)**

#### **Rated MVA (MVA nominales)**

En función del tipo/clase del transformador, puede haber disponibles hasta tres campos MVA. La clase/elevación de temperatura correspondiente se mostrará debajo de cada campo de potencia nominal. Cuando esté disponible, Clase1 MVA  $\leq$  Clase2 MVA  $\leq$  Clase3 MVA.

1. Cuando se selecciona Por Norma, sólo es editable el campo Clase1 MVA. Clase2 y Clase3 (cuando estén disponibles) se calculan a partir de Clase1 MVA basándose en la Norma Nacional Americana C57.12.10 y sólo se pueden visualizar. Esta opción también se aplica a (3) 1-Fase y otros transformadores especiales de 2 devanados.
2. Cuando se selecciona Definido por el Usuario, además de los MVA de Clase1, el usuario puede especificar los valores nominales de Clase2 y Clase3 (cuando estén disponibles). No se aplica ningún cálculo para la opción definido por el usuario. Esta opción también se aplica a (3) 1-Fase y otros transformadores especiales de 2 devanados.

#### **Per Transformer (Por transformador)**

Este botón sólo está disponible cuando la conexión del transformador de 2 devanados está configurada como (3) tipo monofásico. Seleccione este botón para introducir los valores nominales y las impedancias individuales de los transformadores monofásicos.

#### **Fan/Pump (Ventilador/bomba)**

El equipo de refrigeración necesario para la potencia nominal correspondiente. El campo está marcado para especificar la disponibilidad del equipo.

### **Derated MVA (MVA reducidos)**

Muestra los MVA reducidos para cada clase/aumento de temperatura.

### **%Derating (%Reducción)**

Estos campos muestran el porcentaje de reducción de potencia para cada clase/aumento de temperatura debido a la indisponibilidad del equipo de refrigeración, la altitud de la instalación y la temperatura ambiente. Se calculan mediante la fórmula « $(1 - \text{MVA disminuidos} / \text{MVA nominales}) * 100$ » para la potencia nominal correspondiente.

### **Z Base**

Este valor se utiliza como MVA base para la impedancia del transformador y depende de la selección de la norma.

ANSI: Base MVA = Clase1 MVA. IEC: MVA de base = el mayor MVA de clase disponible.

### **Alert – Max (Alerta – Máx)**

Este valor, si no es cero, se utiliza para calcular el porcentaje de sobrecarga del transformador. Si la capacidad máxima de MVA del transformador es mayor que cero, la rama se marcará en la página de resumen de sobrecarga del informe de salida de flujo de carga, es decir, ETAP ignorará este valor si se establece en cero y esta rama no se incluirá en el informe de resumen de sobrecarga.

Cuando se selecciona MVA reducido, la capacidad máxima de MVA se establecerá en el valor reducido más grande.

1. Cuando se selecciona Definido por el Usuario, el usuario puede especificar la capacidad máxima de MVA.
2. Este valor también se utiliza como base para la restricción de flujo del transformador en los estudios de flujo de potencia óptimo.

### **Installation (Instalación)**

Se utiliza para especificar la altitud base y la temperatura base del transformador.

### **Type/Class (Tipo/Clase)**

En función de la norma seleccionada, los campos siguientes ofrecerán diferentes opciones de selección. Las tablas siguientes muestran dichas opciones:

### **Type (Tipo)**

Seleccione el tipo de transformador en el cuadro de lista Tipo. Los siguientes tipos de transformadores están disponibles para las normas ANSI e IEC:

- Liquid-Fill - Versiones anteriores de la norma C57.12 hasta 1993
- Liquid-Fill C57.12 - Versiones desde 2000 hasta la norma C57.12 actual
- Seco

Seleccione el tipo de transformador en el cuadro de lista Tipo. Los siguientes tipos de transformador están disponibles para la Norma IEC:

- Liquid-Fill
- Seco

## Editor de condensadores

Capacitor Editor - BC-2

Info Rating Cable/Vd Cable Amp Reliability Remarks Comment

23 kV 1 x 6 Mvar Cable Info not available

Rating

kV Mvar / Bank # of Banks Mvar Amps

23 6 1 6 150.6

Max. kV Mvar microfarad Xc (ohms)

25.3 Bank # x Mvar 36.1 88.1667

Grounding

Loading

	Loading		Capacitor Feeder Loss		
	Category	%	Mvar	MW	Mva
1	Design	100	-6	0	0
2	Normal	100	-6	0	0
3	Brake	100	-6	0	0
4	Winter Load	100	-6	0	0
5	Summer Load	100	-6	0	0
6	FL Reject	100	-6	0	0
7	Emergency	100	-6	0	0
8	Shutdown	100	-6	0	0

Operating Load: MW 0 +j Mvar -5.939

BC-2 OK Cancel

### Valores nominales

#### kV

Introduzca la tensión nominal del condensador en kV. Si este condensador es una carga trifásica, kV es la tensión de línea a línea. Para un condensador monofásico, la tensión nominal en kV debe ser coherente con la forma en que este condensador está conectado al sistema, es decir, si el kV nominal del bus es 4,16 y este condensador está conectado

entre la fase A y el neutro, entonces la tensión nominal del condensador debe ser del orden de 2,4 kV (4,16/1,73). Si el kV nominal del bus es 4,16 y este condensador está conectado entre la fase A y la fase B (AB), la tensión nominal del condensador debe estar en torno a 4,16 kV.

### **Máx. kV**

Introduzca la tensión nominal máxima del condensador en kV. Normalmente, este valor es el 110% de los kV nominales del condensador.

### **Mvar/Bank**

Introduzca la potencia reactiva del condensador por banco. Esta potencia reactiva en VAr capacitiva a conectarse al sistema.

### **# of Banks**

Introduzca el número de bancos de condensadores. ETAP calcula automáticamente el kvar total basado en el kvar/banco y # de bancos.

$$\text{Mvar} = (\text{Mvar/Banco}) \times (\# \text{ de Bancos})$$

$$\text{kvar} = (\text{kvar/Banco}) \times (\# \text{ de bancos})$$

$$\text{kvar/banco} \# \times \text{kvar Opción}$$

Seleccione la opción para elegir entre kvar y Banco # x kvar para su visualización en el diagrama unifilar.

### **Botón Mvar/kvar**

Haga clic en el botón Mvar/kvar para elegir entre las unidades Mvar y kvar para introducir y mostrar los datos Mvar/kvar.

ETAP calcula y muestra los amperios y la reactancia del condensador, así como el tamaño del condensador en microfaradios. Para calcular estas variables se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Amps = \frac{kvar}{\sqrt{3} \times kV}$$

3-phase

$$Amps = \frac{kvar}{kV}$$

Single-Phase

$$Xc = 10^3 \times \frac{kV^2}{kvar}$$

Ohms

$$microfarad = \frac{10^5}{Xc \times 2\pi f}$$

## Loading

Este grupo se utiliza para asignar un porcentaje de carga a cada una de las diez categorías de carga para el condensador, es decir, cada condensador puede tener un nivel de carga de funcionamiento diferente para cada categoría de carga. Para editar los valores del porcentaje de carga, haga clic en cualquiera de los campos de edición bajo la columna % Carga. Nota: Puede seleccionar cualquiera de estas categorías de carga cuando realice Estudios de Carga Lenta y Arranque de Motor.

## Editor de red eléctrica (Power Grid Editor)

### Rated kV (KV nominal)

Introduzca la tensión nominal de la red eléctrica en kilovoltios (kV). Esta entrada es utilizada por ETAP para convertir los MVA de cortocircuito de la compañía eléctrica en porcentaje de cortocircuito. Este valor también se utiliza como kV base de la red eléctrica. ETAP calcula los voltajes base comenzando con los sistemas oscilantes (redes eléctricas oscilantes y/o generadores oscilantes) y continuando para el resto del sistema, utilizando los kV nominales de los devanados del transformador.

### Categorías de generación

Este grupo se utiliza para asignar los diferentes ajustes de potencia a cada una de las diez categorías de generación para esta red eléctrica. Cada red puede configurarse para tener un nivel de potencia de funcionamiento diferente para cada categoría de generación. Dependiendo del modo de funcionamiento, algunos de los valores se pueden editar de la siguiente manera:

Swing Mode: %V y ángulo

Voltage Control Mode: %V y MW

Mvar Control: MW y Mvar

Power Factor Control: MW y PF

Nota: Puede seleccionar cualquiera de las categorías de generación de los ajustes de flujo de carga en los casos de estudio como flujo de carga, arranque de motor, estabilidad transitoria y otros.

### **Gen. Cat.**

Muestra los nombres de las categorías de generación. Para modificar estos nombres, desde el Menú Proyecto, apunte a Ajustes y luego seleccione Categorías de Generación. Modifique los nombres en el cuadro de diálogo Categoría de generación.

### **%V (Magnitud de tensión)**

Introduzca la magnitud de la tensión de la red eléctrica como porcentaje de los kV nominales de la red eléctrica. Este % de tensión de funcionamiento se utiliza como valor de control (regulado) para los modos de control de oscilación y tensión. Este valor se utiliza como tensión de funcionamiento inicial para el control de Mvar en las redes eléctricas.

### **Vangle (Ángulo de tensión)**

Introduzca el ángulo de la tensión de la red eléctrica en grados. Este valor se utiliza como ángulo de referencia para redes eléctricas en modo oscilante. Este valor se utiliza como ángulo de tensión de funcionamiento inicial para el control de Mvar en las redes eléctricas.

### **MW/kW**

Introduzca la generación de megavatios/kilovatios (suministro de potencia real) de la red eléctrica. Este campo se proporciona para redes controladas por tensión y controladas por Mvar. Este valor se mantendrá fijo para las soluciones de flujo de carga.

### **Mvar/kvar**

Introduzca la generación de megavar (suministro de potencia reactiva) de la red eléctrica. Este campo sólo está disponible para los tipos de red controlados por Mvar. Este valor se mantendrá fijo para las soluciones de flujo de carga.

### **%PF**

Es el ajuste del factor de potencia de la red eléctrica. Esta columna sólo es editable para los tipos de red controlados por FP. Este valor se mantendrá fijo para las soluciones de flujo de carga.

### **QMax y QMin**

Estas entradas especifican los límites máximo y mínimo de generación de potencia reactiva en Mvar/kvar. Estos límites sólo son necesarios para los tipos de red regulados por tensión y deben obtenerse a partir de la curva de capacidad (Mvar frente a MW), es decir, los límites máximo y mínimo de Mvar deben corresponder a la generación de MW especificada. Si el valor de Mvar calculado queda fuera de este rango, el valor se fija en el límite y el tipo de red eléctrica se cambia a control Mvar.

### **Operating (Estado de operación)**

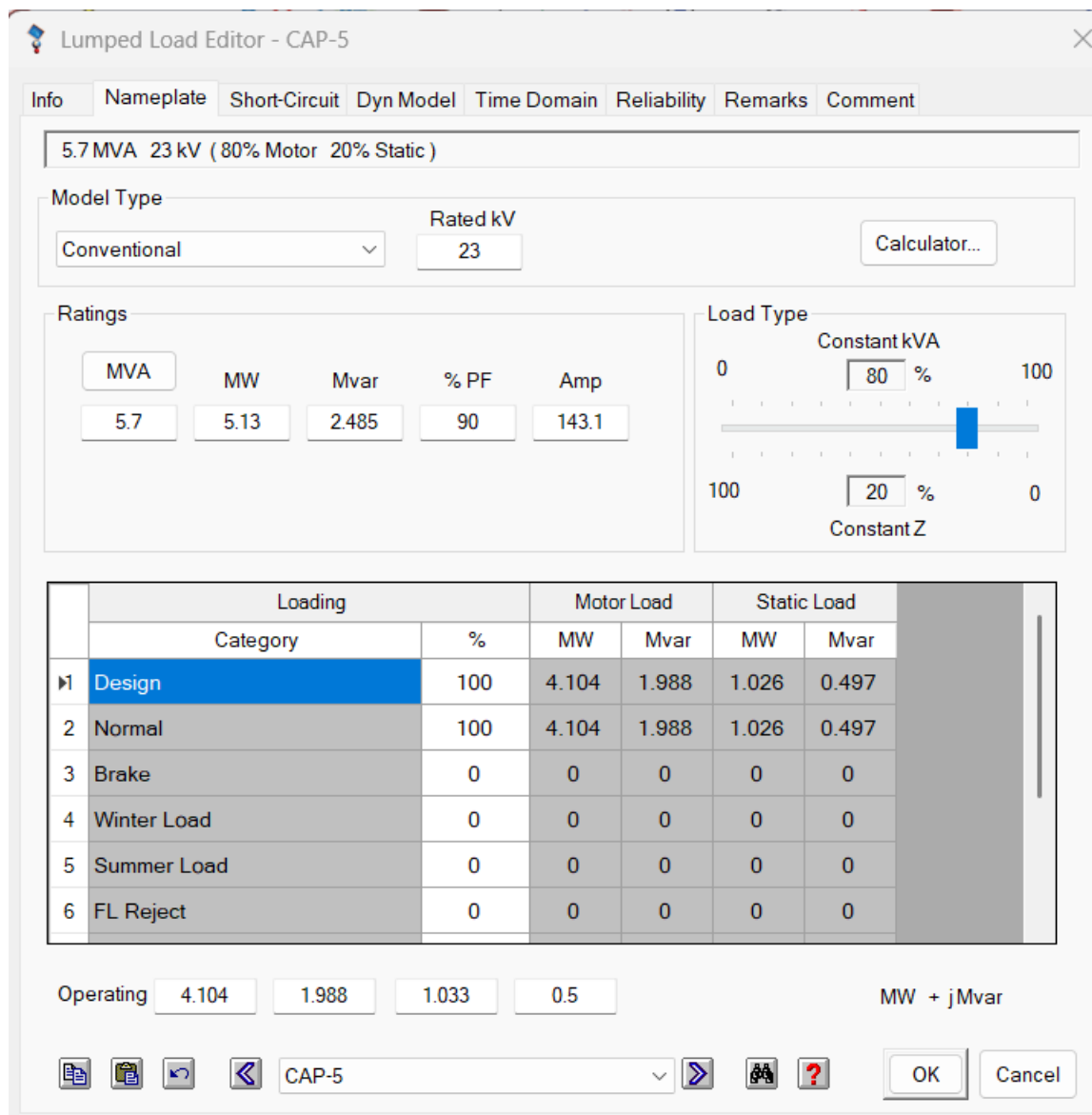
Basado en el último flujo de carga ejecutado, la magnitud de tensión operativa, ángulo de tensión, MW y Mvar se muestran aquí; o, puede introducir la magnitud de tensión operativa, ángulo de tensión, MW y Mvar. ETAP utilizará estos campos dependiendo del Modo de Operación de la Red Eléctrica. Consulte Modo en la página Información de la red eléctrica.

### **Editor de cargas (Lumped Load)**

#### **Nameplate Page**

La página Nameplate Page del Editor de Lumped Load permite especificar la potencia y la carga. Dado que la carga global está diseñada para modelar una combinación de diferentes cargas en una sola, existen varios tipos de modelos disponibles para llevar a cabo esta tarea.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**



**Rating (Valores)**

Haga clic en el botón MVA/kVA para elegir entre las unidades MVA y kVA para introducir y mostrar los datos MVA/kVA, MW/kW y Mvar/kvar.

ETAP utiliza las siguientes ecuaciones para calcular kVA, kW, kvar, PF, Amperios y kV cuando se cambia una de las variables:

$$kVA = \sqrt{kW^2 + kvar^2}$$

$$PF = kW / kVA \quad \text{Negative PF means leading PF}$$

$$Amps = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} \quad \text{3-phase}$$

$$Amps = \frac{kVA}{kV} \quad \text{1-phase}$$

### **kV**

Introduzca la tensión nominal de la carga global en kV.

### **Amps**

Introduzca la corriente nominal de línea de la carga global en amperios.

### **%PF**

Es el factor de potencia de la carga global en porcentaje con un rango de -100% a +100%. El signo del factor de potencia determina si se trata de un factor de potencia de retraso o de adelanto, por ejemplo, +80% indica retraso y -80% indica adelanto.

### **Editor de Barra**

La página de información se utiliza para especificar el ID del bus, el servicio y el estado, el kV nominal, la tensión inicial/operativa (magnitud y ángulo), los factores de diversidad (máximo y mínimo), la etiqueta FDR y el nombre y la descripción del equipo.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

The screenshot shows the 'Bus Editor - Main Bus' window. At the top, there are tabs for 'Harmonic', 'Reliability', 'Remarks', and 'Comment'. Below these are sub-tabs for 'Phase V', 'Load', 'Motor/Gen', 'Rating', 'Arc Flash', and 'Protection'. The main area contains the following fields and controls:

- Info:** ID: Main Bus, Nominal kV: 34.5
- Bus Voltage:** Initial (% V: 100, kV: 34.5, Angle: 0), Operating (% V: 0, kV: 0, Angle: 0)
- Equipment:** Tag #: , Name: Main Bus, Description:
- Classification:** Zone: 1, Area: 1, Region: 1
- Connection:** 3 Phase (selected), 1 Phase 2W, 1 Phase 3W
- Load Diversity Factor:** Min: 85%, Max: 125%
- Revision Data:** Base
- Condition:** Service: In (selected), Out; State: As-built

The status bar at the bottom shows 'Main Bus' and 'OK'/'Cancel' buttons.

## Información

### ID

Se trata de un nombre de ID único con un máximo de 25 caracteres alfanuméricos. ETAP asigna automáticamente un ID único a cada transformador. Los IDs asignados consisten en el ID por defecto más un número entero, comenzando con el número uno y aumentando a medida que aumenta el número de transformadores. El ID por defecto del

transformador (T) se puede cambiar desde el menú Valores por Defecto o desde el Gestor del Sistema.

### **Nominal kV**

Introduzca la tensión nominal del bus en kilovoltios (kV). Esta entrada es obligatoria y ETAP la utiliza para convertir las tensiones de bus finales a los valores reales para la visualización gráfica y los informes de salida, es decir, el kV nominal del bus se utiliza como kV base para las tensiones porcentuales informadas.

Tensión de bus

### **Initial %V**

Introduzca la magnitud de la tensión de bus como porcentaje de los kV nominales del bus. Este valor se utiliza como tensión de bus inicial para los estudios de flujo de carga, incluidos los estudios de arranque de motores, armónicos y estabilidad transitoria. Para los buses no regulados que no tienen ninguna compañía eléctrica o generador conectado a ellos, la tensión de funcionamiento se calcula durante el análisis de flujo de carga utilizando el valor introducido aquí como primera estimación o valor inicial.

Si selecciona la opción Actualizar tensión inicial de barras en el Editor de casos de estudio de flujo de carga, este valor reflejará la tensión de funcionamiento de la barra después de ejecutar un estudio de flujo de carga.

### **Angle**

Introduzca el ángulo de fase de la tensión del bus en grados. Para los buses no oscilantes (buses que no tienen ninguna compañía eléctrica o generador en modo oscilante conectado a ellos), los ángulos de tensión se calculan durante el análisis del flujo de carga utilizando los valores introducidos aquí como primera estimación. Este valor se ignora para los autobuses de tipo oscilante. El ángulo de tensión por defecto es 0,0.

### **Operating Voltage %V / kV / Angle**

Después de ejecutar los estudios de flujo de carga, la magnitud de tensión de funcionamiento en %, kV y ángulo de fase del bus se muestran aquí.

## **Prácticas de Análisis y diseño de sistemas de potencias**

### **1. Modelado de la Estación Capiatá**

La estación ES-CAP de la ANDE está equipada con dos transformadores de potencia trifásicos de 80 MVA, de las marcas CROMPTON y XI'AN, respectivamente. Cada transformador suministra energía a una barra de 23 kV. En la Figura 5 se presenta un esquema unifilar de la Estación.

El transformador TR-01 alimenta las siguientes cargas (Barra A):

- Un transformador de Servicios Auxiliares de 200 kVA.
- Un banco de capacitores de 6 MVAr.
- Siete alimentadores de 23 kV, identificados como CAP-1 a CAP-7.

El transformador TR-02 suministra energía a (Barra B):

- Un transformador de Servicios Auxiliares de 200 kVA.
- Un banco de capacitores de 6 MVAr.
- Siete alimentadores de 23 kV, identificados como CAP-9 a CAP-15.

Utilizando el mímico que se muestra en la Figura 5 y las indicaciones que se muestra a continuación modele la ES-CAP.

Mímico

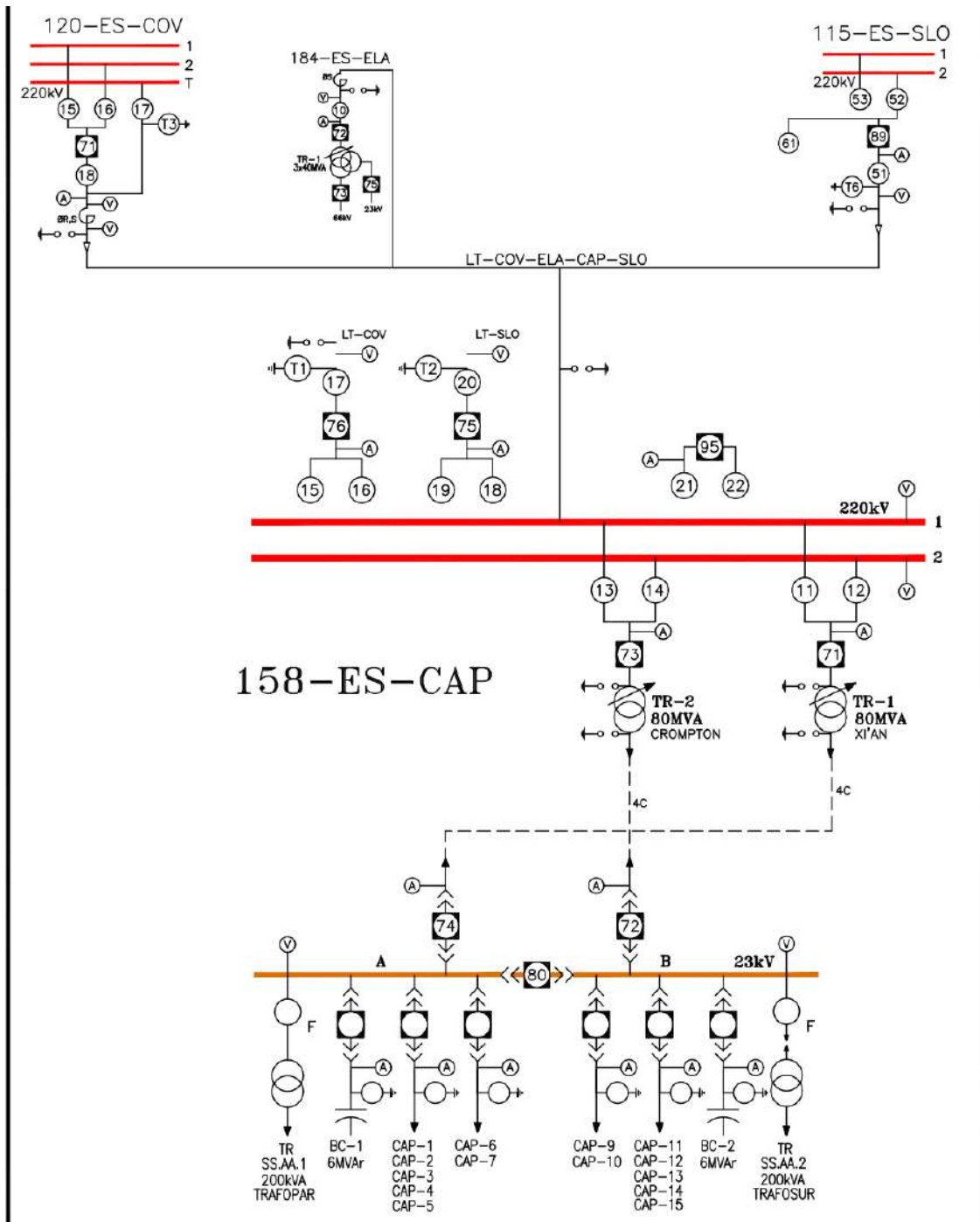
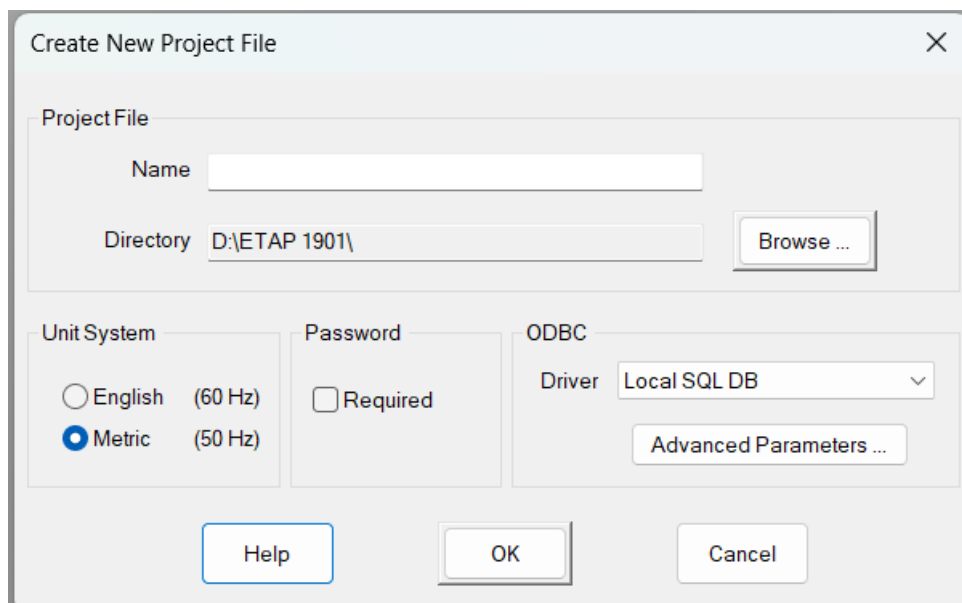


Figura 5. Mímico de la ES-CAP

## Crea un proyecto nuevo

Haz Click en **File** → **New project**

Una vez aparezca la ventana de **Create New Project File** indica el nombre del proyecto y elige el sistema de unidades métricas (50 Hz)



## Red

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo**.

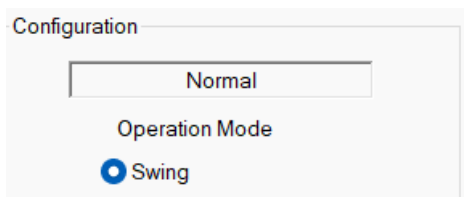


En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de Red eléctrica. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de Red eléctrica y utiliza el **Editor de red eléctrica (Power Grid Editor)**.

Asegúrese que este configurado en modo **Swing (Oscilación)**



## Transformador 1

Mediante los datos de placa se obtienen los siguientes datos del transformador 1 (TR-01):

Potencia Nominal (MVA)	80
Impedancia (%)	12,55
Grupo Vectorial	YNyn11

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo**.



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de transformador. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de transformador y utiliza el **Editor de transformadores de 2 devanados**.

Especifica el Voltaje y la Potencia en la pestaña "Rating".

Especifica la Impedancia en la pestaña "Impedance".

Especifica el Grupo Vectorial en la pestaña "Grounding".

En la Figura 6 se muestra gráficamente lo anteriormente mencionado.

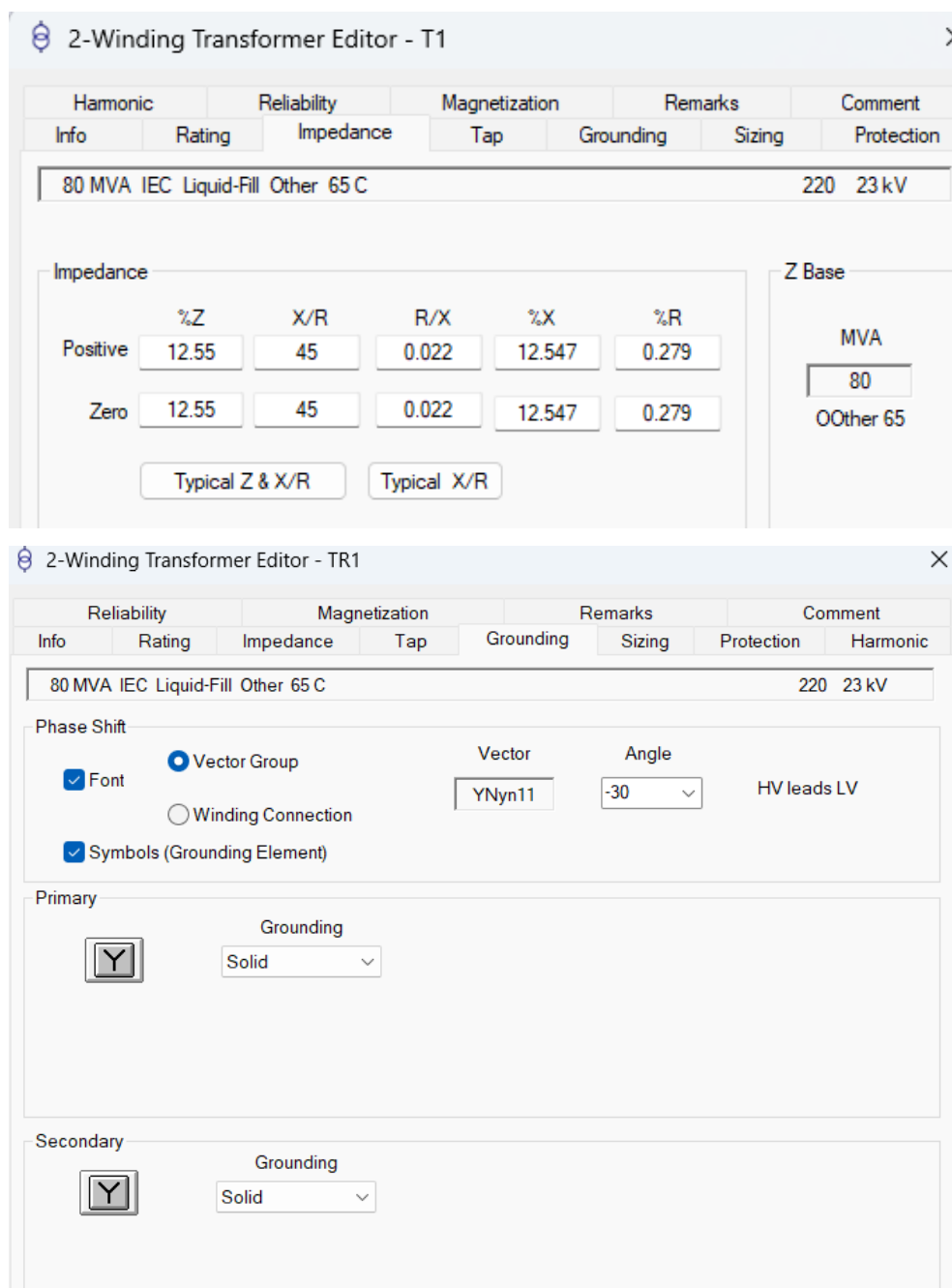


Figura 6. Parámetros de simulación Transformador TR01

## Transformador 2

Mediante los datos de placa se obtienen los siguientes datos del transformador 2 (TR-02):

Potencia Nominal (MVA)	80
Impedancia (%)	12,567
Grupo Vectorial	YNyn11

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

Repita los mismos pasos para el modelado del Transformador 1.  
 En la Figura 7 se muestra gráficamente la especificación de parámetros.

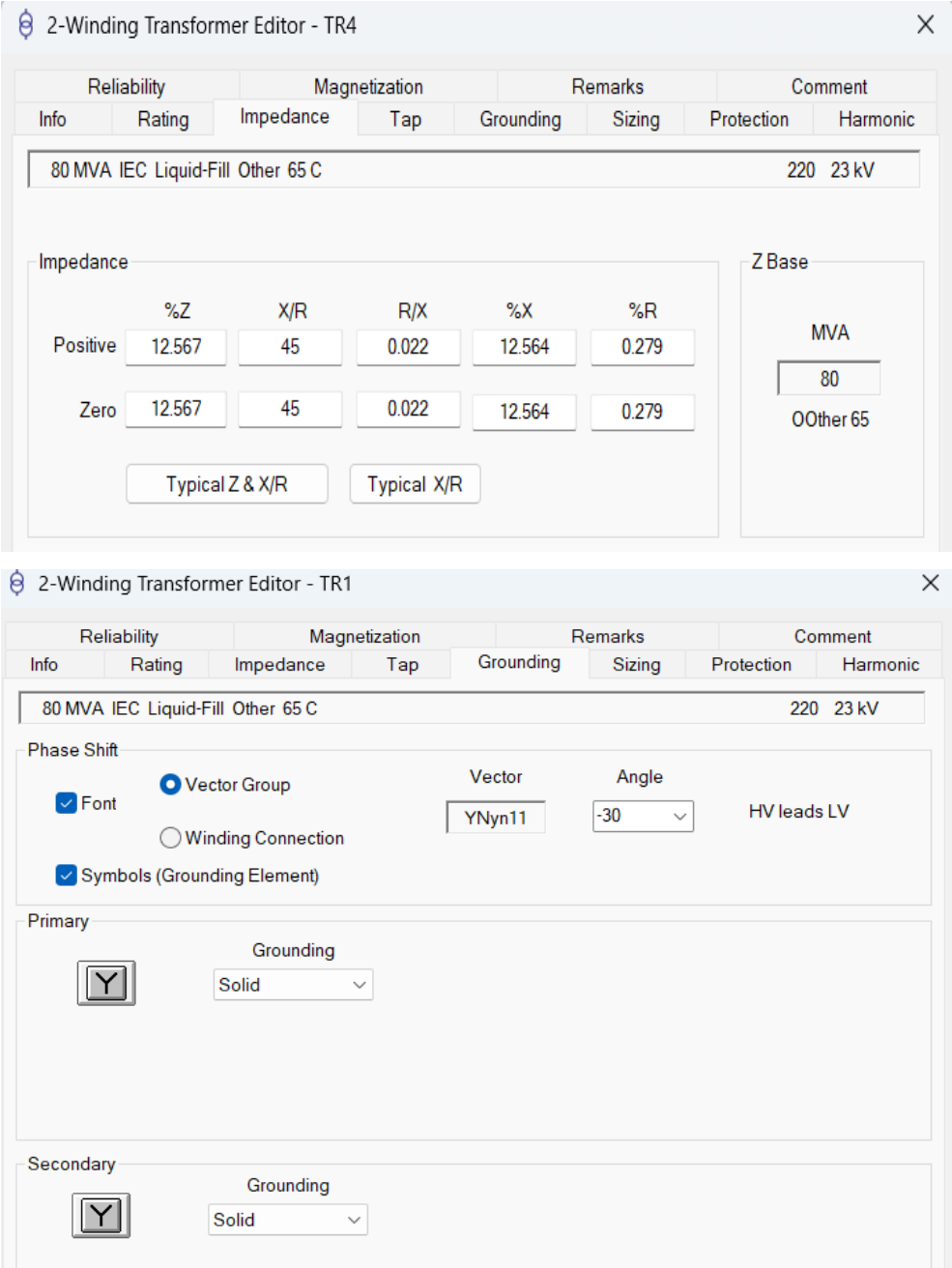


Figura 7. Parámetros de simulación Transformador TR02

## Transformadores S.S.A.A. MT/BT (T1 y T2)

Utiliza los siguientes datos para los Transformadores de S.S.A.A. MT/BT (T1 y T2)

Potencia Nominal (kVA)	200
Impedancia (%)	4
Grupo Vectorial	Dyn1

Rellena la ventana de Impedance haciendo Click en “ Typical Z & X/R”

2-Winding Transformer Editor - T1

Info Rating **Impedance** Tap Grounding Sizing Protection Harmonic Reliability Remarks Comment

200 kVA IEC Liquid-Fill Other 65 C 23 0.38 kV

Impedance

	%Z	X/R	R/X	%X	%R
Positive	4	1.5	0.667	3.328	2.219
Zero	4	1.5	0.667	3.328	2.219

Z Base

kVA

200

Other 65

Z Variation

	%Z	% Z Variation
@ -5 % Tap	4	0
@ 5 % Tap	4	0

Z Tolerance

+ 0 %

## Cargas

En la Tabla 1 se presenta las cargas por cada alimentador indicando su factor de potencia en porcentaje. Estas cargas pueden ser representadas utilizando los elementos *Lumped Load*.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

Tabla 1. Cargas de las barras de 23 kV de la ES-CAP

Elemento	Potencia (MW)	FP (%)
T1 (BT)	0,08	100
BC-1 (12MVA <sub>r</sub> )	-	-
CAP-01	4,4	90
CAP-02	6,6	90
CAP-03	0,6	90
CAP-04	5,9	90
CAP-05	5,7	90
CAP-06	0	90
CAP-07	6,6	90
CAP-09	5,2	90
CAP-10	7,2	90
CAP-11	1,4	90
CAP-12	8,0	90
CAP-13	6,2	90
CAP-14	8,0	90
CAP-15	0	90
BC-2 (6MVA <sub>r</sub> )	-	-
T2 (BT)	0,08	100

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo.**



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de **Lumped Load**. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de **Lumped Load** y utiliza el **Editor de cargas (Lumped Load)**.

En la pestaña Nameplate introduce los valores de Potencia y FP proporcionados en Tabla 1. En la Figura 8 se muestra gráficamente lo anteriormente mencionado.

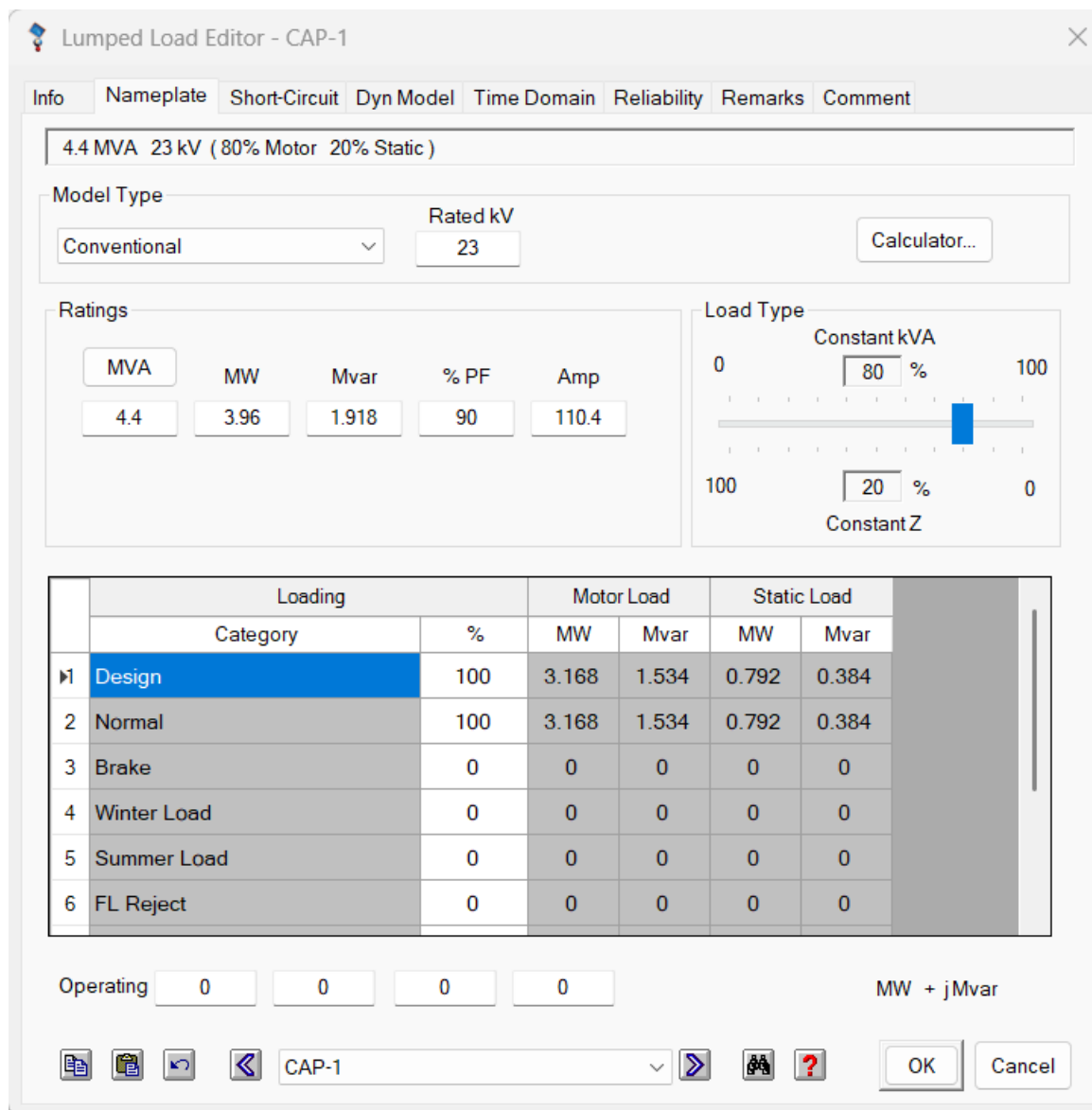


Figura 8. Parámetros para la Carga del CAP-1.

Repita el mismo procedimiento para modelar los otros alimentadores.

## Banco de capacitores 1

En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de **Condensador**. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo del **Condensador** y utiliza el **Editor de condensadores**.

En la pestaña Rating carga los valores presentados en la Figura 9.

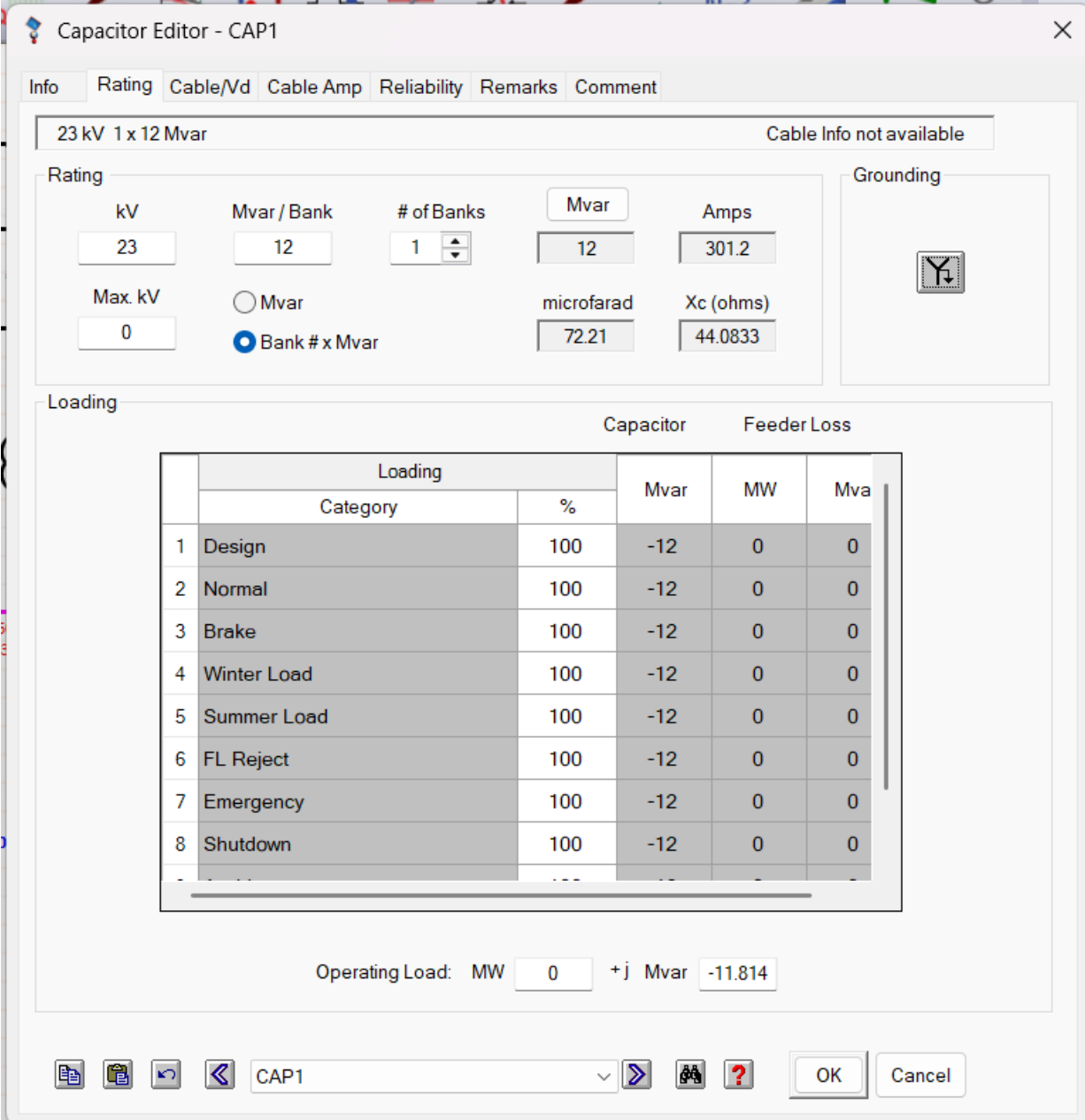


Figura 9. Parámetros del Banco de condensadores 1.

**Banco de capacitores 2**

Repite los mismos pasos del modelado del **Banco de capacitores 1**.  
 En la pestaña Rating carga los valores presentados en la Figura 10.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

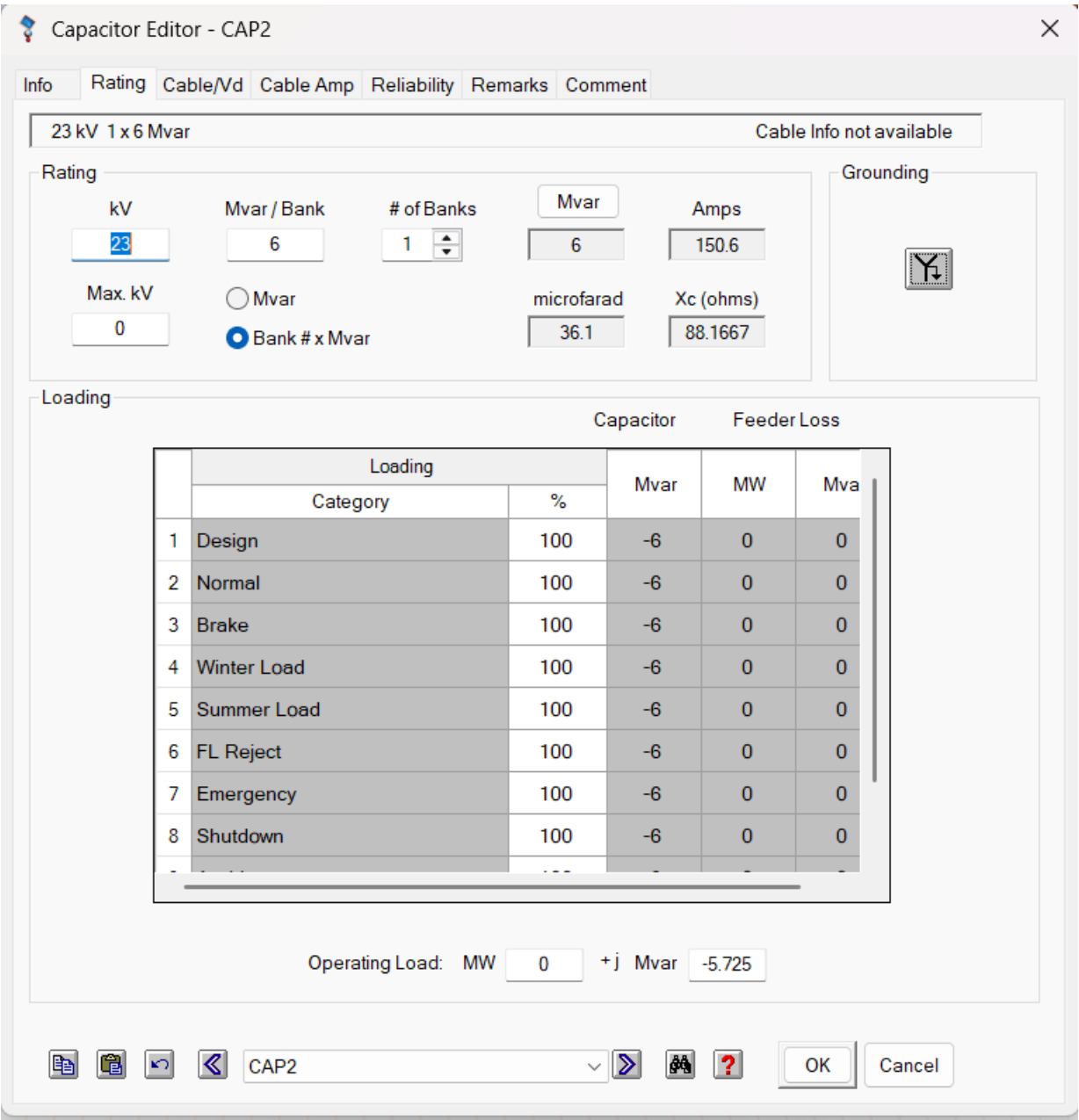


Figura 10. Parámetros para el banco de condensadores 2.

### **Escenario 1. Flujo de potencia (Sin compensación reactiva)**

Configure el estado de los interruptores según la Tabla 2.

*Tabla 2. Escenario 1 (Sin compensación reactiva)*

Alimentador	Potencia (MVA)	FP (%)	Estado de interruptor
T1 (BT)	0,08	100	Closed
BC-1 (12MVA <sub>r</sub> )	-	-	Open
CAP-01	4,4	90	Closed
CAP-02	6,6	90	Closed
CAP-03	0,6	90	Closed
CAP-04	5,9	90	Closed
CAP-05	5,7	90	Closed
CAP-06	0	90	Open
CAP-07	6,6	90	Closed
CAP-09	5,2	90	Closed
CAP-10	7,2	90	Closed
CAP-11	1,4	90	Closed
CAP-12	8,0	90	Closed
CAP-13	6,2	90	Closed
CAP-14	8,0	90	Closed
CAP-15	0	90	Open
BC-2 (6MVA <sub>r</sub> )	-	-	Open
T2 (BT)	0,08	100	Open

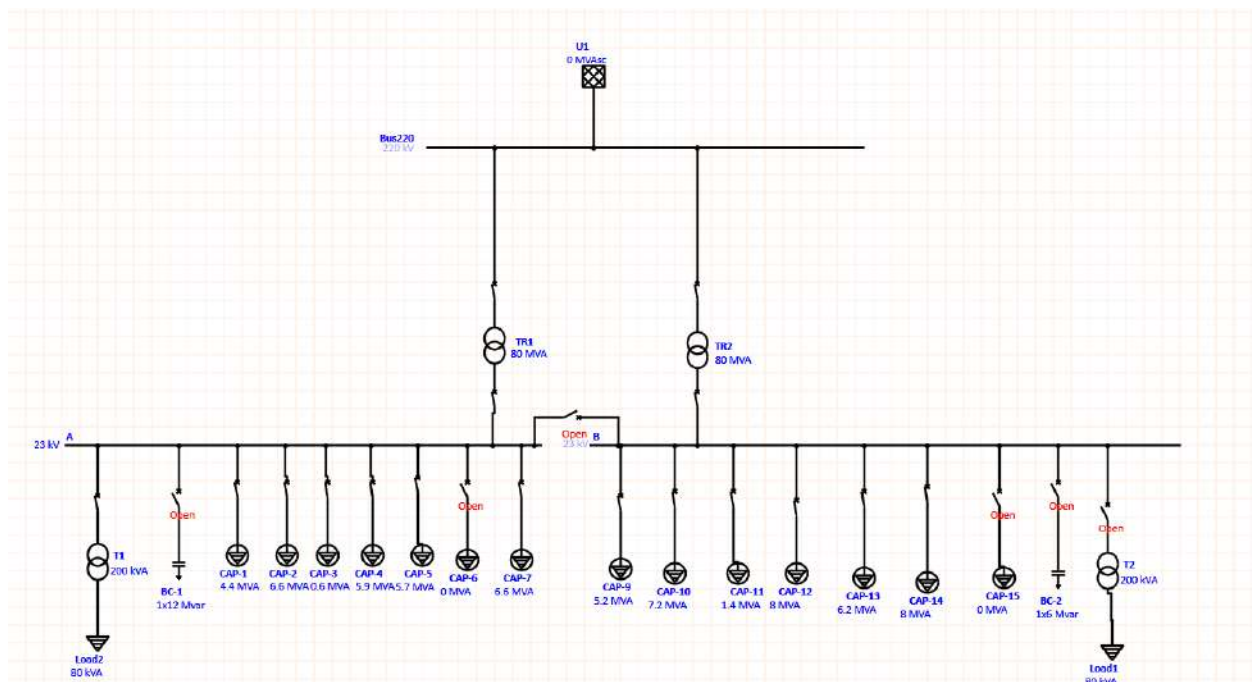


Figura 11. Unifilar de la ES-CAP (Sin compensación reactiva).

## Resultados (Escenario 1)

Realiza el **Análisis de flujo de carga** (Lea el apartado: **Trabajar en el modo Análisis del flujo de carga**).

Una vez realizado **Run Load Flow Studies** (Ejecutar estudios de flujo de carga).



Haz click en **Load Flow Result Analyzer** (Analizador de resultados de flujo de carga).



Se abrirá una ventana en donde se podrá visualizar los siguientes resultados: General, Bus, Branch, Load y Source las cuales se documentan en las siguientes tablas.

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

## General

Buses	4
Branches	3
Generators	0
Power Grids	1
Loads	13
Load-MW	58.705
Load-Mvar	28.396
Generation-MW	58.784
Generation-Mvar	31.94
Loss-MW	0.0794
Loss-Mvar	3.544
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

## Bus

Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
A	23	97.75	26.657	0
B	23	97.25	32.049	0
Bus220	220	100	58.784	0

## Branch

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
T1	Transf. 2W	0.0757	0.001	1.945	37.9
TR1	Transf. 2W	26.689	14.315	79.48	37.9
TR2	Transf. 2W	32.095	17.625	96.09	45.8

## Load

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
CAP-1	4.4 MVA	23	3.925	1.901	112	90	101.4	97.75
CAP-2	6.6 MVA	23	5.887	2.851	168	90	101.4	97.75
CAP-3	0.6 MVA	23	0.535	0.259	15.27	90	101.4	97.75
CAP-4	5.9 MVA	23	5.263	2.549	150.2	90	101.4	97.75
CAP-5	5.7 MVA	23	5.084	2.462	145.1	90	101.4	97.75
CAP-7	6.6 MVA	23	5.887	2.851	168	90	101.4	97.75
CAP-9	5.2 MVA	23	4.629	2.242	132.8	90	101.7	97.25
CAP-10	7.2 MVA	23	6.41	3.104	183.8	90	101.7	97.25
CAP-11	1.4 MVA	23	1.246	0.604	35.74	90	101.7	97.25
CAP-12	8 MVA	23	7.122	3.449	204.3	90	101.7	97.25
CAP-13	6.2 MVA	23	5.519	2.673	158.3	90	101.7	97.25
CAP-14	8 MVA	23	7.122	3.449	204.3	90	101.7	97.25
Load2	0.08 MVA	0.38	0.0751	0	117.8	100	96.9	96.88

### Source

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Generation
U1	0 MVA	220	58.784	31.94	175.6	87.87	

### Interpretación de resultados (Escenario 1)

**Escenario 1: Flujo de potencia (Sin compensación reactiva)** En este escenario, los bancos de capacitores están desconectados (interruptores en estado "Open"). Los resultados generales muestran una carga total en la estación de **59.028 MW y 28.396 Mvar**. La fuente (identificada como U1) proporciona la potencia necesaria, que en este caso es **58.784 MW y 31.94 Mvar**. Se observan pérdidas en el sistema de **0.0794 MW y 3.544 Mvar**. El factor de potencia en la fuente es del **87.87%**.

**Interpretación del Escenario 1:** Al no contar con compensación de potencia reactiva local (los bancos de capacitores están fuera de servicio), la estación debe importar una cantidad significativa de potencia reactiva de la fuente (**31.94 Mvar**) para satisfacer las demandas de las cargas (28.396 Mvar) y las pérdidas reactivas del sistema (3.544 Mvar). Esto se refleja en un factor de potencia relativamente bajo (87.87%) y pérdidas reactivas considerables.

## **Escenario 2. Flujo de potencia (Con compensación reactiva)**

Configure el estado de los interruptores según la Tabla 3.

*Tabla 3. Escenario 2 (Con compensación reactiva).*

Elemento	Potencia (MVA)	FP (%)	Estado de interruptor
T1 (BT)	0,08	100	Closed
BC-1 (12MVA <sub>r</sub> )	-	-	Closed
CAP-01	4,4	90	Closed
CAP-02	6,6	90	Closed
CAP-03	0,6	90	Closed
CAP-04	5,9	90	Closed
CAP-05	5,7	90	Closed
CAP-06	0	90	Open
CAP-07	6,6	90	Closed
CAP-09	5,2	90	Closed
CAP-10	7,2	90	Closed
CAP-11	1,4	90	Closed
CAP-12	8,0	90	Closed
CAP-13	6,2	90	Closed
CAP-14	8,0	90	Closed
CAP-15	0	90	Open
BC-2 (6MVA <sub>r</sub> )	-	-	Closed
T2 (BT)	0,08	100	Open
Acople (80)	-	-	Open

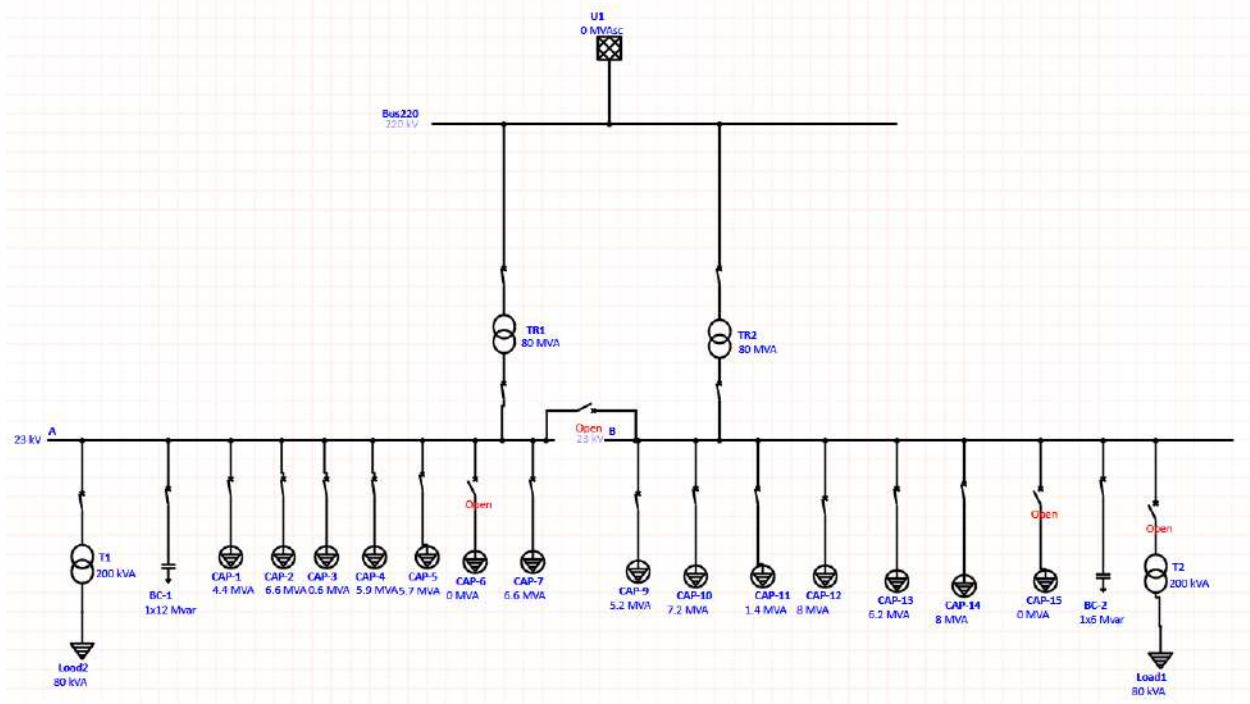


Figura 12. Unifilar de la ES-CAP (Con compensación reactiva).

## Resultados (Escenario 2)

Realiza el **Análisis de flujo de carga** y accede al **Load Flow Result Analyzer (Analizador de resultados de flujo de carga)**.

Se abrirá una ventana en donde se podrá visualizar los siguientes resultados: General, Bus, Branch, Load y Source las cuales se documentan en las siguientes tablas.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

---

**General**

Study ID	PRUEBA
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal
Loading Cat	Design
Generation Cat	Design
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	4
Branches	3
Generators	0
Power Grids	1
Loads	13
Load-MW	59.028
Load-Mvar	10.85
Generation-MW	59.095
Generation-Mvar	13.833
Loss-MW	0.067
Loss-Mvar	2.983
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

**Bus**

Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
A	23	99.65	26.861	0
B	23	98.19	32.168	0
Bus220	220	100	59.095	0

**Branch**

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
T1	Transf. 2W	0.0787	0.001	1.983	39.4
TR1	Transf. 2W	26.887	2.199	70.79	33.7
TR2	Transf. 2W	32.209	11.634	89.87	42.8

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

**Load**

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
BC-1	-12 Mvar	23	0	-11.916	300.2	0	99.6	99.65
BC-2	-6 Mvar	23	0	-5.785	147.9	0	98.2	98.19
CAP-1	4.4 MVA	23	3.954	1.915	110.7	90	100.2	99.65
CAP-2	6.6 MVA	23	5.932	2.873	166	90	100.2	99.65
CAP-3	0.6 MVA	23	0.539	0.261	15.09	90	100.2	99.65
CAP-4	5.9 MVA	23	5.303	2.568	148.4	90	100.2	99.65
CAP-5	5.7 MVA	23	5.123	2.481	143.4	90	100.2	99.65
CAP-7	6.6 MVA	23	5.932	2.873	166	90	100.2	99.65
CAP-9	5.2 MVA	23	4.646	2.25	132	90	101.1	98.19
CAP-10	7.2 MVA	23	6.434	3.116	182.7	90	101.1	98.19
CAP-11	1.4 MVA	23	1.251	0.606	35.53	90	101.1	98.19
CAP-12	8 MVA	23	7.148	3.462	203.1	90	101.1	98.19
CAP-13	6.2 MVA	23	5.54	2.683	157.4	90	101.1	98.19
CAP-14	8 MVA	23	7.148	3.462	203.1	90	101.1	98.19
Load2	0.08 MVA	0.38	0.078	0	120	100	98.8	98.76

**Source**

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Generation
U1	0 MVA	220	59.095	13.833	159.3	97.37	

**Interpretación de resultados (Escenario 2)**

**Escenario 2: Flujo de potencia (Con compensación reactiva)** En este escenario, los bancos de capacitores (de 12 MVar y 6 MVar) están operativos (interruptores en estado "Closed"). La carga total se mantiene en **59.028 MW y 10.85 Mvar**. Sin embargo, la fuente (U1) ahora suministra **59.095 MW y 13.833 Mvar**. Las pérdidas disminuyen significativamente a **0.067 MW y 2.983 Mvar**. El factor de potencia en la fuente mejora notablemente, alcanzando el **97.37%**.

**Interpretación del Escenario 2:** La activación de los bancos de capacitores proporciona potencia reactiva a la estación. Esto reduce drásticamente la necesidad de importar Mvar desde la fuente. Al disminuir el flujo de potencia reactiva a través de la red, se reducen las pérdidas (tanto de potencia activa como reactiva) y el factor de potencia en el punto de conexión a la fuente mejora considerablemente. Este escenario demuestra el beneficio de la compensación reactiva para mejorar la eficiencia operativa y el factor de potencia del sistema.

### Escenario 3. Flujo de potencia (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva)

Configure el estado de los interruptores según la Tabla 4.

Tabla 4. Escenario 3 (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva)

Elemento	Potencia (MVA)	FP (%)	Estado de interruptor
T1 (BT)	0,08	100	Closed
BC-1 (12MVA <sub>r</sub> )	-	-	Open
CAP-01	4,4	90	Closed
CAP-02	6,6	90	Closed
CAP-03	0,6	90	Closed
CAP-04	5,9	90	Closed
CAP-05	5,7	90	Closed
CAP-06	0	90	Open
CAP-07	6,6	90	Closed
CAP-09	5,2	90	Closed
CAP-10	7,2	90	Closed
CAP-11	1,4	90	Closed
CAP-12	8,0	90	Closed
CAP-13	6,2	90	Closed
CAP-14	8,0	90	Closed
CAP-15	0	90	Open
BC-2 (6MVA <sub>r</sub> )	-	-	Open
T2 (BT)	0,08	100	Open
Acople (80)	-	-	Open

Para este Escenario es necesario el modelado del cambiador de tomas, ambos transformadores tienen la misma cantidad de taps y relación de voltaje por lo que la Figura 13 es válida para los dos.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

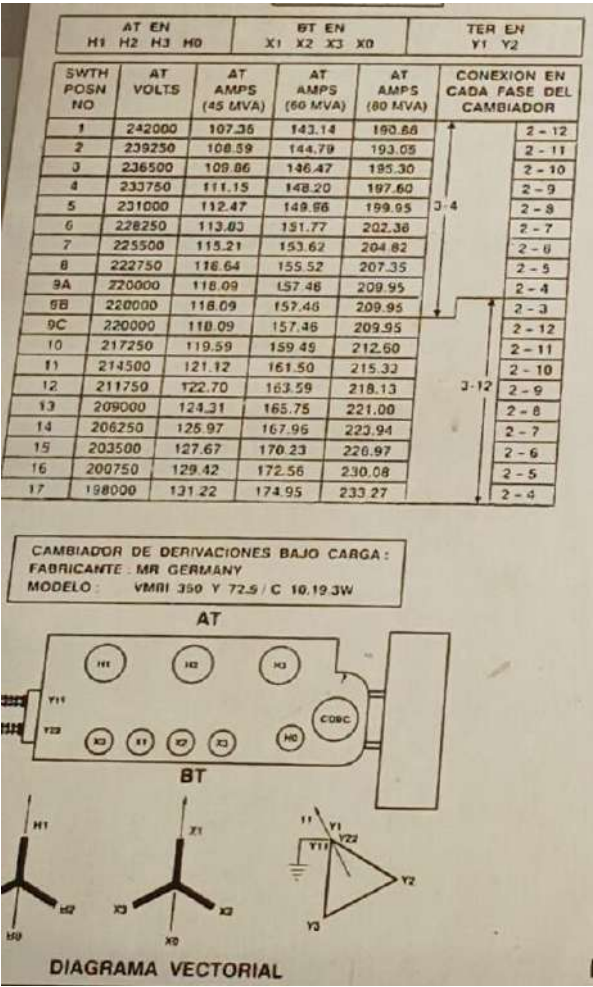


Figura 13. Datos de placa del cambiador de tomas del transformador de la ES-CAP.

Utilizando el **Editor de transformadores de 2 devanados** en la ventana Tap (LTC) cargue los parámetros mostrados en la Figura 14.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

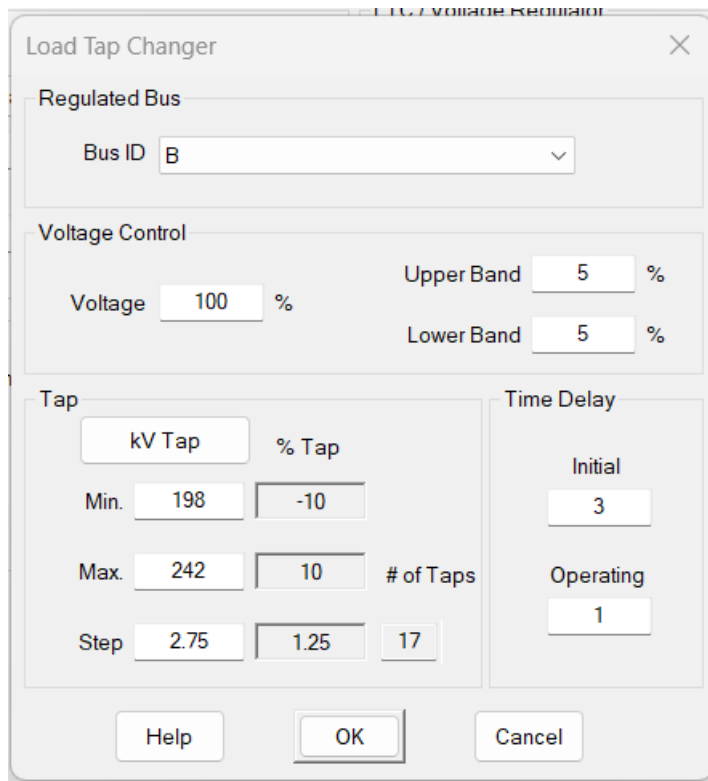


Figura 14. Parámetros para el modelado del cambiador de tomas.

Ajuste los valores del **LTC** a -2.5 lado primario para ambos transformadores como se muestra en la Figura 15 (Esto con el fin de aumentar las tensiones en barras de 23 kV).

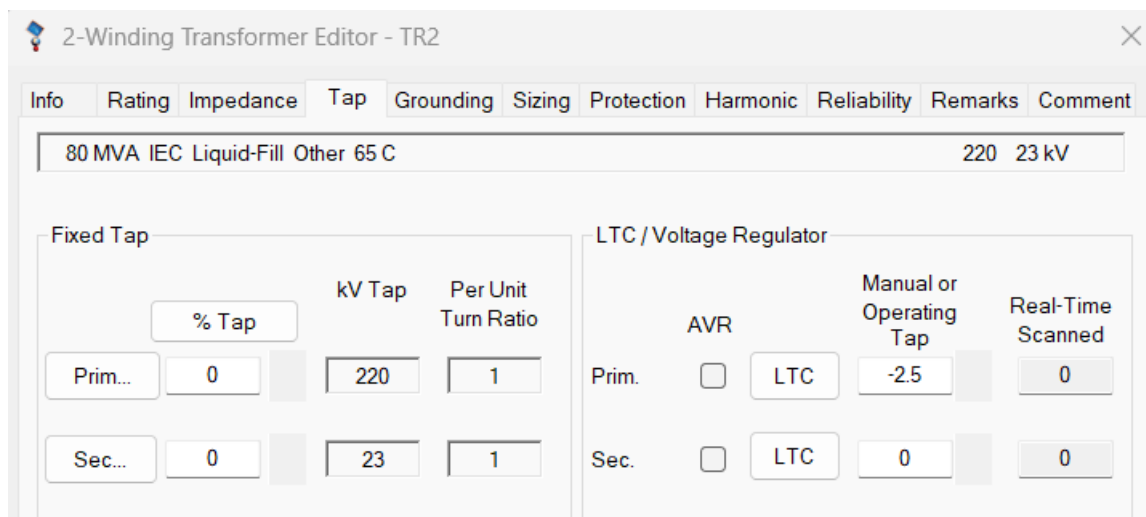


Figura 15. Valor de ajuste de cambiador de tomas para TR-01 y TR-02.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

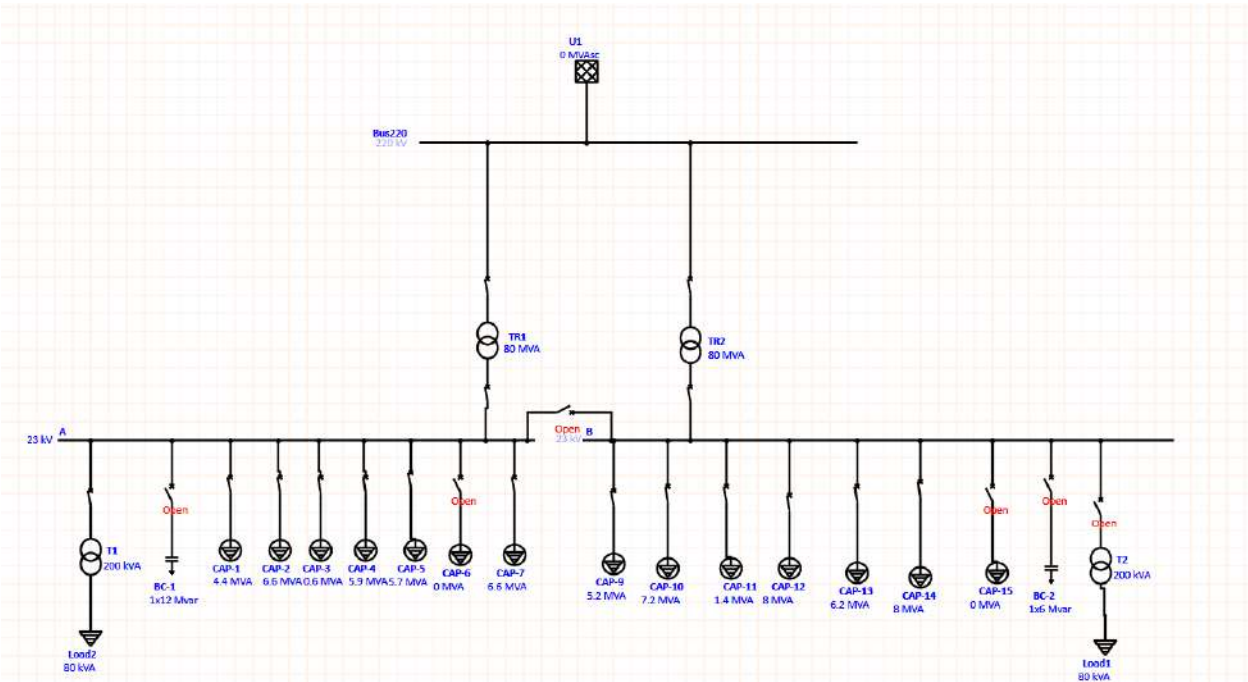


Figura 16. Unifilar de la ES-CAP (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva).

### **Resultados (Escenario 3)**

Realiza el **Análisis de flujo de carga** y accede al **Load Flow Result Analyzer (Analizador de resultados de flujo de carga)**.

Se abrirá una ventana en donde se podrá visualizar los siguientes resultados: General, Bus, Branch, Load y Source las cuales se documentan en las siguientes tablas.

#### **General**

Study ID	PRUEBA
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal
Loading Cat	Design
Generation Cat	Design
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	4
Branches	3
Generators	0
Power Grids	1
Loads	13
Load-MW	59.319
Load-Mvar	28.691
Generation-MW	59.396
Generation-Mvar	32.124
Loss-MW	0.077
Loss-Mvar	3.433
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

#### **Bus**

Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading	% Loading
A	23	100.35	26.937	0
B	23	99.86	32.382	0
Bus220	220	100	59.396	0

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

## Branch

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
T1	Transf. 2W	0.0798	0.0011	1.997	39.9
TR1	Transf. 2W	26.968	14.404	80.24	38.2
TR2	Transf. 2W	32.428	17.719	96.98	46.2

## Load

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
CAP-1	4.4 MVA	23	3.966	1.921	110.2	90	99.8	100.35
CAP-2	6.6 MVA	23	5.948	2.881	165.3	90	99.8	100.35
CAP-3	0.6 MVA	23	0.541	0.262	15.03	90	99.8	100.35
CAP-4	5.9 MVA	23	5.317	2.575	147.8	90	99.8	100.35
CAP-5	5.7 MVA	23	5.137	2.488	142.8	90	99.8	100.35
CAP-7	6.6 MVA	23	5.948	2.881	165.3	90	99.8	100.35
CAP-9	5.2 MVA	23	4.677	2.265	130.6	90	100.1	99.86
CAP-10	7.2 MVA	23	6.476	3.137	180.9	90	100.1	99.86
CAP-11	1.4 MVA	23	1.259	0.61	35.17	90	100.1	99.86
CAP-12	8 MVA	23	7.196	3.485	201	90	100.1	99.86
CAP-13	6.2 MVA	23	5.577	2.701	155.8	90	100.1	99.86
CAP-14	8 MVA	23	7.196	3.485	201	90	100.1	99.86
Load2	0.08 MVA	0.38	0.0791	0	120.9	100	99.5	99.46

## Source

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Generation
U1	0 MVA	220	59.396	32.124	177.2	87.96	

## Interpretación de resultados (Escenario 3)

**Escenario 3: Flujo de potencia (Con cambiador de tomas y sin compensación reactiva)** Este escenario vuelve a tener los bancos de capacitores desconectados, pero modela el cambiador de tomas bajo carga (LTC) en los transformadores. La carga total es la misma (59.319 MW y 28.691 Mvar). Los resultados generales muestran que la fuente suministra **59.396 MW y 32.124 Mvar**. Las pérdidas son de **0.077 MW y 3.433 Mvar**.

**Interpretación del Escenario 3:** Aunque la compensación reactiva (capacitores) no está activa, el uso del cambiador de tomas (LTC) en los transformadores influye en el flujo de potencia. El LTC se utiliza para controlar la tensión. Ajustar la relación de transformación mediante el LTC puede ayudar a mantener los niveles de tensión deseados, lo que a su

vez afecta el flujo de potencia reactiva en la red. En comparación con el Escenario 1 (sin compensación ni LTC), la potencia reactiva importada de la fuente y las pérdidas son ligeramente menores. Esto sugiere que el control de tensión mediante el LTC también contribuye a una operación más eficiente que la ausencia total de controles, aunque no logra el mismo nivel de mejora que la compensación reactiva directa proporcionada por los bancos de capacitores (Escenario 2).

## **2. Modelado del SIN en ETAP**

Para el modelado del SINP, se emplea la red simplificada de [3] que asume la línea de 500 kV entre las subestaciones de Ayolas y Villa Hayes ya en operación, y que los subsistemas SS1 y SS2 funcionan en sincronía. Esta representación simplificada es crucial para los ingenieros que se especializan en la operación de las hidroeléctricas y del sistema de transmisión, ya que se espera que ambos subsistemas operen interconectados a corto plazo, con el objetivo de aumentar la robustez del SINP. Los datos utilizados provienen de fuentes extraoficiales y son reales. La red simplificada incluye las líneas de alta tensión de 220 y 500 kV, las barras de las subestaciones principales, las generaciones de las hidroeléctricas, las reactancias y algunas inyecciones de potencia.

### **a. Información de Barrajes**

A continuación, se presenta la agrupación de las barras según la subestación a la que pertenecen:

- Subestación de la central hidroeléctrica Itaipú (IPU):
- Subestación Margen Derecha (SMD y MD):
- Subestación de la central hidroeléctrica Acaray (ACY): barras que conectan a esta subestación.
- Subestación Villa Hayes (VHA): barras que conectan a esta subestación.
- Subestación Itakyry (IRY): barra que conecta a esta subestación.
- Subestación Ayolas (AYO): barras que conectan a esta subestación.
- Subestación de la central hidroeléctrica Yacyretá (YAC): barras que conectan a esta subestación.
- Subestación Foz de Iguazú (FOZ):
- Subestación de Rincón (RINCON):

Además de las barras mencionadas, el modelo incluye:

- Inyecciones de potencia en los nudos de las subestaciones Margen Derecha, Villa Hayes, Acaray, Itakyry y Ayolas. Estas inyecciones representan la interconexión con otras barras del SINP real que no se incluyen en la red de estudio.

## MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

• Las barras de Foz de Iguazú y Rincón representan las demandas de Brasil y Argentina respectivamente, las cuales son cubiertas por las centrales binacionales y representan cargas para el sistema paraguayo.

En la Tabla 5 se presenta información más detallada sobre las 23 barras de la red, incluyendo su número, tipo, nombre y tensión base.

*Tabla 5. Barras de la red*

Número	Tipo	Nombre	Tensión base (kV)
85	PQ	FOZ-500-50HZ	500
1100	SLACK	IPU10G 18	18
1101	PQ	ITAIPU 50-500	500
1102	PQ	ITAIPU 50-500	500
1103	PQ	SEMD 500	500
1104	PQ	SEMD 500B	500
1105	PV	IPU 18 B	18
5000	PQ	YACYRETA	500
5001	PQ	YACYRETA B	500
5002	PQ	RINCON	500
5671	PV	YACYHI01	13,2
5676	PV	YACYHI06	13,2
41000	PQ	VHA B1 500	500
41001	PQ	VHA B1 220	220
42001	PQ	ACY 220	220
42005	PQ	IRY B1 220	220
42701	PV	ACY G1 13.8	13,8
42702	PV	ACY G2 13.8	13,8
42703	PV	ACY G3 13.8	13,8
42704	PV	ACY G3 13.8	13,8
43000	PQ	AYO B1 500	500
43001	PQ	AYO B1 220	220
48007	PQ	MD B1 220	220

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

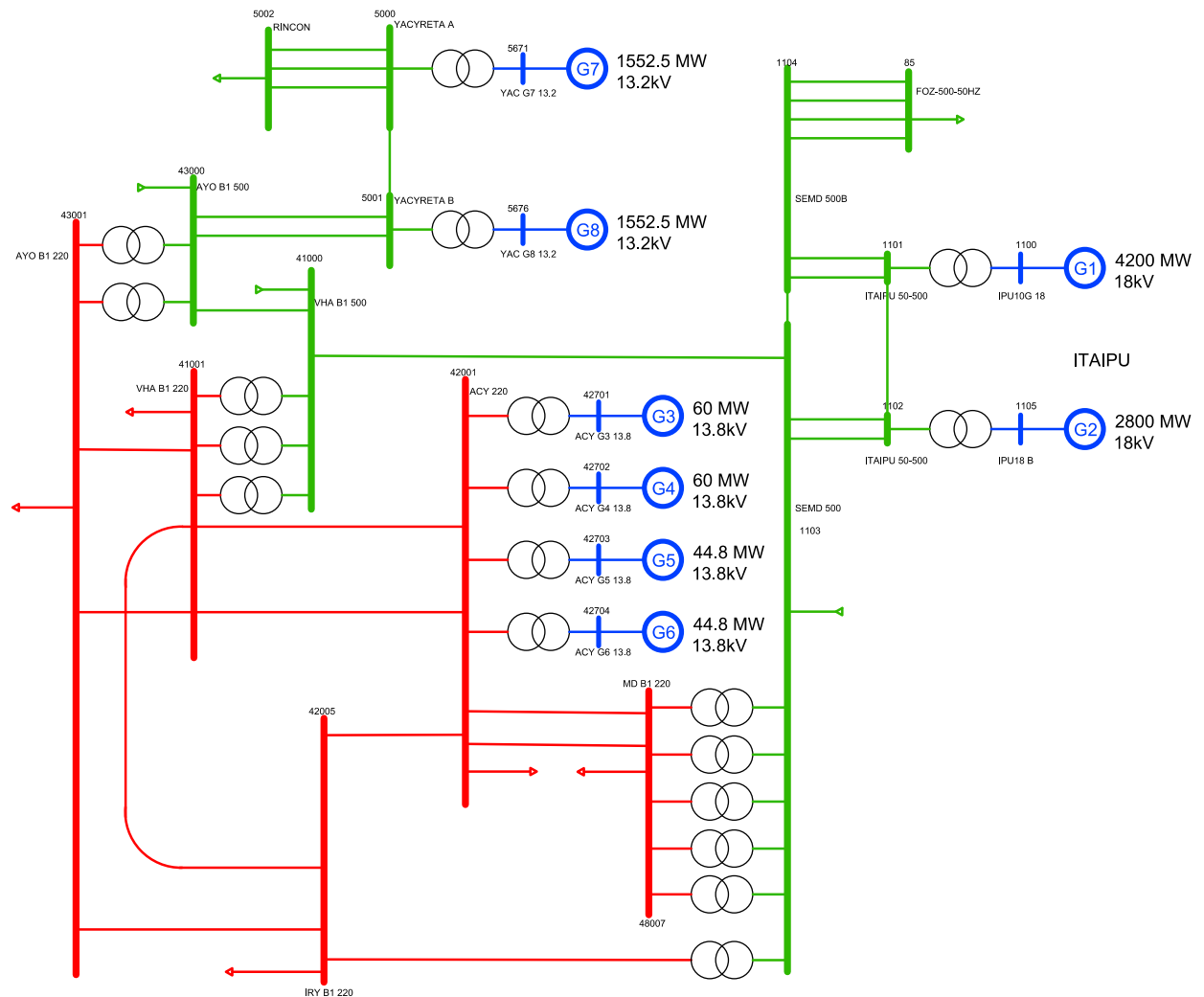


Figura 17. Unifilar del SIN Simplificado

Crea un nuevo proyecto.

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo**.



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de Barra. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de Barra y utiliza el **Editor de Barra**.

### b. Información de generadores

A continuación, se detalla la representación de cada central:

- **Central Itaipú:** Se modela con 2 generadores, equivalentes a las 10 unidades generadoras reales de la central con frecuencia de 50 Hz. Un generador está conectado a una de las barras de la subestación de Itaipú y el otro a una barra diferente de la misma subestación.
- **Central Yacyretá:** Se representa con 2 generadores que equivalen a 18 unidades generadoras reales de la central. Cada generador está conectado a una de las barras de la subestación de Yacyretá.
- **Central Acaray:** Se representa con 4 generadores, cada uno conectado a una de las barras de la subestación de Acaray.

En la Tabla 6, se muestran las características de cada generador de la red, incluyendo su potencia nominal, factor de potencia, tensión base y tipo de conexión. Además, todos los generadores síncronos de las hidroeléctricas están cargados con los parámetros dinámicos que se observan en la Tabla 7.

Tabla 6. Generadores de la red

Generador	Potencia nominal (MW)	FP (%)	Tensión base (kV)	Conexión	Central
Gen1	4200	85	18	estrella	IPU
Gen2	2800	85	18	estrella	IPU
Gen3	60	80	13,8	estrella	ACY
Gen4	60	80	13,8	estrella	ACY
Gen5	44,8	80	13,8	estrella	ACY
Gen6	44,8	80	13,8	estrella	ACY
Gen7	1552,5	90	13,2	estrella	YACYRETA
Gen8	1552,5	90	13,2	estrella	YACYRETA

Tabla 7. Parámetros dinámicos de los generadores

Item	Unidad
Reactancia síncrona $x_d$	0,85 pu
Reactancia síncrona $x_q$	0,705 pu
Reactancia transitoria $x_d'$	0,32 pu
Reactancia transitoria $x_q'$	0,705 pu
Reactancia subtransitoria $x_d''$	0,243 pu
Reactancia subtransitoria $x_q''$	0,267 pu
Reactancia de secuencia negativa $x_2$	0,255 pu
Reactancia de secuencia cero $x_0$	0,087 pu
Constante de tiempo $T'd$	3,1 seg
Constante de tiempo $T''d$	0,1 seg

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo**.



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de Generador. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de Generador y utiliza el **Editor de Generador Síncrono**.

### c. Información de Líneas de Transmisión

El sistema modelado cuenta con 27 líneas que conectan las distintas barras, formando una red mallada.

Las características de las líneas se detallan en la Tabla 8 y Tabla 9 e incluyen:

- Las barras a las que se conectan las líneas.
- Sus resistencias, reactancias y susceptancias.
- Sus longitudes.
- La capacidad de transporte de cada una.

Estas líneas representan las conexiones de alta tensión de 220 y 500 kV dentro del sistema simplificado.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

*Tabla 8. Parámetros de impedancia de las líneas*

Nº	De	Para	S base (MVA)	V base (kV)	Resistencia (pu)	Reactancia (pu)	Susceptancia (pu)
Z1	85	1104	100	500	0.000058	0.001001	0.104
Z2	85	1104	100	500	0.000057	0.000982	0.1021
Z3	85	1104	100	500	0.000056	0.000969	0.10041
Z4	85	1104	100	500	0.000054	0.000936	0.09691
Z5	1101	1102	100	500	0	0.00001	-
Z6	1101	1104	100	500	0.000013	0.00023	0.02239
Z7	1101	1104	100	500	0.000013	0.00023	0.02239
Z8	1102	1103	100	500	0.000013	0.000227	0.02216
Z9	1102	1103	100	500	0.000013	0.00023	0.02239
Z10	1103	1104	100	500	0	0.00001	-
Z11	1103	41000	100	500	0.0035061	0.037193	37.032
Z12	1103	42005	100	220	0.0064151	0.050047	-
Z13	5000	5001	100	500	0	0.00001	-
Z14	5000	5002	100	500	0.004	0.0004	0.038
Z15	5000	5002	100	500	0.004	0.0004	0.038
Z16	5000	5002	100	500	0.004	0.0004	0.038
Z17	5001	43000	100	500	0.0001	0.00179	0.17464
Z18	5001	43000	100	500	0.0001	0.00179	0.17464
Z19	41000	43000	100	500	0.003785	0.038192	38.719
Z20	41001	42001	100	220	0.016416	0.080624	-
Z21	41001	42005	100	220	0.028546	0.12099	-
Z22	41001	43001	100	220	0.02437	0.14145	-
Z23	42001	42005	100	220	0.067313	0.28017	-
Z24	42001	43001	100	220	0.15051	0.75813	-
Z25	42005	43001	100	220	0.58421	2.412	-
Z26	48007	42001	100	220	0.00031	0.002983	0.008905
Z27	48007	42001	100	220	0.000303	0.002934	0.008698

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

Tabla 9. Longitud y Capacidad de las líneas

	De	Para	Longitud ( km)	Capacidad (MVA)
Z1	85	1104	9	2000
Z2	85	1104	9	2500
Z3	85	1104	9	2500
Z4	85	1104	9	2500
Z5	1101	1102	1	2500
Z6	1101	1104	2	2500
Z7	1101	1104	2	2500
Z8	1102	1103	2	2500
Z9	1102	1103	2	2500
Z10	1103	1104	0,5	2500
Z11	1103	41000	348	2500
Z12	1103	42005	71	900
Z13	5000	5001	0,5	2000
Z14	5000	5002	3	2000
Z15	5000	5002	3	2000
Z16	5000	5002	3	2000
Z17	5001	43000	16	2000
Z18	5001	43000	16	2000
Z19	41000	43000	363	2000
Z20	41001	42001	348	660
Z21	41001	42005	277	430
Z22	41001	43001	363	470
Z23	42001	42005	70	470
Z24	42001	43001	418	470
Z25	42005	43001	474	430
Z26	48007	42001	4,8	667
Z27	48007	42001	4,8	667

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo.**



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de Impedancia. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de Barra y utiliza el **Editor de impedancia.**

#### d. Información de Transformadores

El sistema cuenta con 13 transformadores cuya potencia y tensión se especifica en la Tabla 10.

Tabla 10. Transformadores de la red

Nº	Potencia (MVA)	Vol. Primario (kV)	Vol. Secundario (kV)
T1	4941	18	500
T2	3294	18	500
T3	75	13,8	220
T4	75	13,8	220
T5	75	13,8	220
T6	75	13,8	220
T7	1725	13,2	500
T8	1725	13,2	500
T9	600	500	220
T10	600	500	220
T11	600	500	220
T12	375	500	220
T13	375	500	220

Tabla 11. Parámetros de impedancia de transformadores

%Z	X/R	R/X	%X	%R
12.5	45	0.022	12.497	0.278

Haz Click en el boton Edit en **Barra de herramientas Modo.**



En la **Barra de Elementos AC** busca el icono de transformador. Realiza un click y arrástralo a la vista del diagrama unifilar.



Haz doble Click sobre el símbolo de Barra y utiliza el **Editor de transformadores de 2 devanados.**

Utilice la Tabla 11 para la carga de datos en la pestaña **Impedance** para los 13 transformadores.

**e. Información de Cargas**

Tabla 12. Cargas e inyecciones de la red

Nombre	MW	Mvar	kV	Barra
Cargas (Static Load)				
Load1	3781	380	500	85
Load2	2298	27	500	5002
Load3	385,624	51,124	220	43001
Load4	1935,9	-473,644	220	41001
Load5	889,621	-127,382	220	42001
Load6	369,7	700	220	48007
Load7	416,14	-86,35	220	42005
Inyecciones (Power Grid)				
U1	334	-192,25	500	1103
U2	65	-137,4	500	41000
U3	14,27	-109,62	500	43000

Se agrega una carga mas que representa un reactor de línea utilizando **Lumped Load** conectada a la barra 43000.

Nombre	MVA	Barra
Reactor	80	43000

**Resultados**

Realiza el **Análisis de flujo de carga** (Lea el apartado: **Trabajar en el modo Análisis del flujo de carga**).

Una vez realizado **Run Load Flow Studies (Ejecutar estudios de flujo de carga)**.



Haz click en **Load Flow Result Analyzer (Analizador de resultados de flujo de carga)**.



Se abrirá una ventana en donde se podrá visualizar los siguientes resultados: General, Bus, Branch, Load y Source las cuales se documentan en las siguientes tablas.

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

---

**General**

Study ID	prueba
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal
Loading Cat	Design
Generation Cat	Design
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	24
Branches	46
Generators	8
Power Grids	3
Loads	8
Load-MW	9792.967
Load-Mvar	536.48
Generation-MW	9824.842
Generation-Mvar	1810.457
Loss-MW	31.875
Loss-Mvar	1273.977
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

**Bus**

Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading
85	500	99.03	3707.816
1100	18	101.5	3770.759
1101	500	99.03	3762.36
1102	500	99.03	3274.943
1103	500	99.03	3608.937
1104	500	99.03	3707.834
1105	18	101.4	2800.001
5000	500	98.8	2242.689
5001	500	98.8	1347.001
5002	500	98.77	2242.002
5671	13.2	100	1350.001
5676	13.2	100	1350
41000	500	98.85	1477.568
41001	220	98.25	1872.903
42001	220	98.01	1250.64
42005	220	98.23	401.52
42701	13.8	99.8	40
42702	13.8	99.8	40
42703	13.8	99.8	30
42704	13.8	99.8	30
43000	500	98.8	558.426
43001	220	98.19	558.54
48007	220	98.01	1465.969

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

---

**Branch**

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
T1	Transf. 2W	3770.759	1084.574	123991	79.4
T2	Transf. 2W	2800.001	718.14	91437	87.8
T3	Transf. 2W	40	11.153	1741	55.4
T4	Transf. 2W	40	11.153	1741	55.4
T5	Transf. 2W	30	10.783	1336	42.5
T6	Transf. 2W	30	10.783	1336	42.5
T7	Transf. 2W	1350.001	201.571	59702	79.1
T8	Transf. 2W	1350	201.571	59702	79.1
T9	Transf. 2W	461.572	40.974	541.3	77.2
T10	Transf. 2W	461.572	40.974	541.3	77.2
T11	Transf. 2W	461.572	40.974	541.3	77.2
T12	Transf. 2W	279.209	25.283	327.6	74.8
T13	Transf. 2W	279.209	25.283	327.6	74.8
T14	Transf. 2W	293.857	38.62	345.6	79
T15	Transf. 2W	293.857	38.62	345.6	79
T16	Transf. 2W	293.857	38.62	345.6	79
T17	Transf. 2W	293.857	38.62	345.6	79
T18	Transf. 2W	293.857	38.62	345.6	79
T19	Transf. 2W	299.866	31.858	351.6	80.4
Z1	Impedance	889.348	91.166	1042	
Z2	Impedance	916.644	92.567	1074	
Z3	Impedance	935.79	93.5	1097	
Z4	Impedance	966.051	94.893	1132	
Z5	Impedance	481.793	155.763	590.4	
Z6	Impedance	1640.284	275.431	1939	
Z7	Impedance	1640.284	275.431	1939	
Z8	Impedance	1674.067	287.454	1981	
Z9	Impedance	1600.876	278.138	1895	
Z10	Impedance	427.272	-178.65	540	
Z11	Impedance	1411.758	355.181	1701	
Z12	Impedance	299.18	0.957	799.1	
Z13	Impedance	895.688	-40.299	1048	
Z14	Impedance	747.563	8.765	873.7	
Z15	Impedance	747.563	8.765	873.7	
Z16	Impedance	747.563	8.765	873.7	
Z17	Impedance	225.656	53.607	271.1	
Z18	Impedance	225.656	53.607	271.1	
Z19	Impedance	92.844	132.591	189.2	
Z20	Impedance	314.713	-354.012	1265	
Z21	Impedance	4.192	16.948	46.63	
Z22	Impedance	176.526	-72.273	509.5	
Z23	Impedance	88.089	-96.836	349.7	
Z24	Impedance	1.314	-23.254	62.25	
Z25	Impedance	10.119	-4.006	29.08	
Z26	Impedance	550.421	-312.145	1694	
Z27	Impedance	560.422	-316.617	1723	

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

## Load

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
Load1	3800 MVA	500	3707.817	372.179	4345	99.5	99	99.03
Load2	2298.159 MVA	500	2242.003	26.337	2621	99.99	98.8	98.77
Load3	388.998 MVA	220	371.796	49.366	1002	99.13	98.2	98.19
Load4	1993 MVA	220	1868.711	-457.621	5139	-97.13	98.3	98.25
Load5	889.803 MVA	220	846.014	-122.373	2289	-98.97	98	98.01
Load6	791.63 MVA	220	355.1	672.376	2036	46.7	98	98.01
Load7	425.005 MVA	220	401.52	-83.404	1096	-97.91	98.3	98.23
Lump4	80 MVA	500	0.008	79.619	93.05	0.01	100.7	98.8

## Source

ID	Rating/Limit	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Generation
Gen1	4200 MW	18	3770.759	1084.574	123991	96.1	89.8
Gen2	2800 MW	18	2800.001	718.14	91437	96.86	100
Gen3	60 MW	13.8	40	11.153	1741	96.33	66.7
Gen4	60 MW	13.8	40	11.153	1741	96.33	66.7
Gen5	44.8 MW	13.8	30	10.783	1336	94.11	67
Gen6	44.8 MW	13.8	30	10.783	1336	94.11	67
Gen7	1552.5 MW	13.2	1350.001	201.571	59702	98.9	87
Gen8	1552.5 MW	13.2	1350	201.571	59702	98.9	87
U1	0 MVA	500	334	-192.25	449.4	-86.67	
U2	0 MVA	500	65.81	-137.4	178	-43.2	
U3	0 MVA	500	14.27	-109.62	129.2	-12.91	

## Interpretación de resultados (Modelado del SIN)

El desbalance (Mismatch) en MW y Mvar es de 0, lo cual indica que el estudio de flujo de carga ha convergido correctamente.

Estos resultados proporcionan una instantánea del estado operativo del SIN simplificado bajo las condiciones modeladas.

- La generación activa (9824.842 MW) es ligeramente superior a la carga activa (9792.967 MW), con la diferencia explicada por las pérdidas activas en la red (31.875 MW). Esto es consistente con un sistema de potencia real donde la generación debe cubrir la demanda más las pérdidas.

## MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO

---

- La generación reactiva (1810.457 Mvar) es significativamente mayor que la demanda de carga reactiva (536.48 Mvar). Esto indica que una parte considerable de la potencia reactiva generada se utiliza para **mantener los perfiles de tensión adecuados en la red de transmisión** y para compensar las pérdidas reactivas (1273.977 Mvar) asociadas al flujo de potencia a través de las impedancias de líneas y transformadores.

Se incluyen las tablas detalladas de resultados por barra, rama, carga o fuente para este modelo del SIN, detallando los:

- Los niveles de tensión en cada subestación.
- Los flujos de potencia (activa y reactiva) en líneas y transformadores.
- La contribución individual de cada central hidroeléctrica o red de potencia.
- El consumo exacto de cada carga modelada.

La interpretación se limita al balance global de potencia activa y reactiva en el sistema modelado y a la confirmación de la convergencia del estudio. El modelado del SIN incluyó líneas de alta tensión de 220 y 500 kV, barras de subestaciones relevantes, generación hidroeléctrica (Itaipú, Yacyretá y Acaray), reactancias e inyecciones de potencia. El estudio de flujo de potencia realizado con ETAP calcula tensiones de bus, factores de potencia de ramas, corrientes y flujos de potencia.

## ANEXO 3

### A.3.1. Encuesta prepotencia

**Manual de ETAP**  
Cuestionario (Pre-Potencia)

1. N° de cuestionario:

\_\_\_\_\_

2. ¿Para qué se utiliza principalmente el software ETAP?

*Marca solo un óvalo.*

Diseño de circuitos electrónicos

Análisis y diseño de sistemas de potencia

Simulación de sistemas de control

Diseño de máquinas eléctricas

3. ¿Has utilizado alguna vez un software para el análisis de sistemas de potencia?

*Marca solo un óvalo.*

Si

No

4. Si respondiste "Sí" a la pregunta anterior, ¿cuál(es)?

\_\_\_\_\_

5. ¿Cuáles de los siguientes son componentes **típicos** que se modelan en un estudio de sistemas de potencia?

*Marca solo un óvalo.*

- Generadores, transformadores y líneas de transmisión
- Motores de corriente directa, interruptores y baterías
- Bancos de capacitores, diodos y resistencias fijas
- Turbinas eólicas, paneles solares y reguladores de voltaje

6. ¿Qué es un **diagrama unifilar** en el contexto de sistemas de potencia?

*Marca solo un óvalo.*

- Un esquema que muestra todas las conexiones trifásicas de un sistema de potencia en detalle.
- Una representación simplificada de un sistema eléctrico que usa una sola línea para denotar las tres fases.
- Un gráfico que indica únicamente la ubicación física de las subestaciones y generadores.
- Un diagrama que representa exclusivamente las protecciones y relés de un sistema de potencia.

7. ¿Cuáles son los tres métodos de cálculo que permite resolver un flujo de carga?

*Marca solo un óvalo.*

- Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Fourier
- Newton-Raphson Adaptativo, Newton-Raphson, Desacoplamiento Rápido
- Elementos Finitos, Diferencias Finitas, Newton-Raphson
- Euler, Runge-Kutta, Newton-Raphson

8. ¿Cómo se puede mejorar los niveles de tensión en barras de 23 kV?

Marca solo un óvalo.

- Instalando bancos de capacitores en derivación, ajustando taps de transformadores y utilizando compensadores síncronos.
- Aumentando la resistencia de las líneas de transmisión y reduciendo la generación de potencia reactiva.
- Desconectando cargas inductivas y limitando el uso de transformadores elevadores.
- Utilizando solo interruptores seccionadores y fusibles para regular la tensión.
- Instalando bancos de capacitores en paralelo y utilizando compensadores síncronos.

9. ¿Qué es un generador en modo *swing* (oscilante) en un sistema de potencia?

Marca solo un óvalo.

- Un generador que opera a potencia reactiva constante y no participa en el control de voltaje.
- Un generador que ajusta su frecuencia y ángulo de fase para equilibrar la potencia activa y mantener la estabilidad del sistema.
- Un generador desconectado de la red que funciona en modo isla.
- Un generador que solo suministra potencia activa durante fallas eléctricas.
- Otro: \_\_\_\_\_

### A.3.2. Encuesta post-ponencia

## Manual de ETAP

Cuestionario Post-Ponencia

1. N° de cuestionario:

\_\_\_\_\_

2. ¿Para qué se utiliza principalmente el software ETAP?

*Marca solo un óvalo.*

- Diseño de circuitos electrónicos
- Análisis y diseño de sistemas de potencia
- Simulación de sistemas de control
- Diseño de máquinas eléctricas

3. ¿Cuáles de los siguientes son componentes **típicos** que se modelan en un estudio de sistemas de potencia?

*Marca solo un óvalo.*

- Generadores, transformadores y líneas de transmisión
- Motores de corriente directa, interruptores y baterías
- Bancos de capacitores, diodos y resistencias fijas
- Turbinas eólicas, paneles solares y reguladores de voltaje

4. ¿Qué es un diagrama unifilar en el contexto de sistemas de potencia? \*

*Marca solo un óvalo.*

- Un esquema que muestra todas las conexiones trifásicas de un sistema de potencia en detalle.
- Una representación simplificada de un sistema eléctrico que usa una sola línea para denotar las tres fases.
- Un gráfico que indica únicamente la ubicación física de las subestaciones y generadores.
- Un diagrama que representa exclusivamente las protecciones y relés de un sistema de potencia.

5. ¿Cuáles son los tres métodos de cálculo que permite resolver un flujo de carga?

*Marca solo un óvalo.*

- Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Fourier
- Newton-Raphson Adaptativo, Newton-Raphson, Desacoplamiento Rápido
- Elementos Finitos, Diferencias Finitas, Newton-Raphson
- Euler, Runge-Kutta, Newton-Raphson

6. ¿Cómo se puede mejorar los niveles de tensión en barras de 23 kV? \*

*Marca solo un óvalo.*

- Instalando bancos de capacitores en derivación, ajustando taps de transformadores y utilizando compensadores síncronos.
- Aumentando la resistencia de las líneas de transmisión y reduciendo la generación de potencia reactiva.
- Desconectando cargas inductivas y limitando el uso de transformadores elevadores.
- Utilizando solo interruptores seccionadores y fusibles para regular la tensión.
- Instalando bancos de capacitores en paralelo y utilizando compensadores síncronos.

7. ¿Qué es un generador en modo *swing* (oscilante) en un sistema de potencia?

*Marca solo un óvalo.*

- Un generador que opera a potencia reactiva constante y no participa en el control de voltaje.
- Un generador que ajusta su frecuencia y ángulo de fase para equilibrar la potencia activa y mantener la estabilidad del sistema.
- Un generador desconectado de la red que funciona en modo isla.
- Un generador que solo suministra potencia activa durante fallas eléctricas.
- Otro: \_\_\_\_\_

8. ¿Cómo se pueden visualizar los resultados de un estudio de flujo de carga en ETAP?

*Marca solo un óvalo.*

- Solo en formato de texto
- En el diagrama unifilar y a través del Analizador de Resultados de Flujo de Carga.
- Exportándolos a AutoCAD
- Imprimiendo el diagrama unifilar

9. En general, ¿qué tan claro y fácil de entender te pareció el manual para realizar las prácticas presentadas?

*Marca solo un óvalo.*

- Muy claro
- Claro
- Neutral
- Poco claro
- Muy poco claro

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA  
CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA,  
CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

---

10. ¿Qué aspectos del manual te resultaron más útiles para comprender el uso de ETAP en el análisis de sistemas de potencia?

---

---

---

---

---

11. ¿Tienes alguna sugerencia para mejorar el manual de prácticas con el software ETAP?

---

---

---

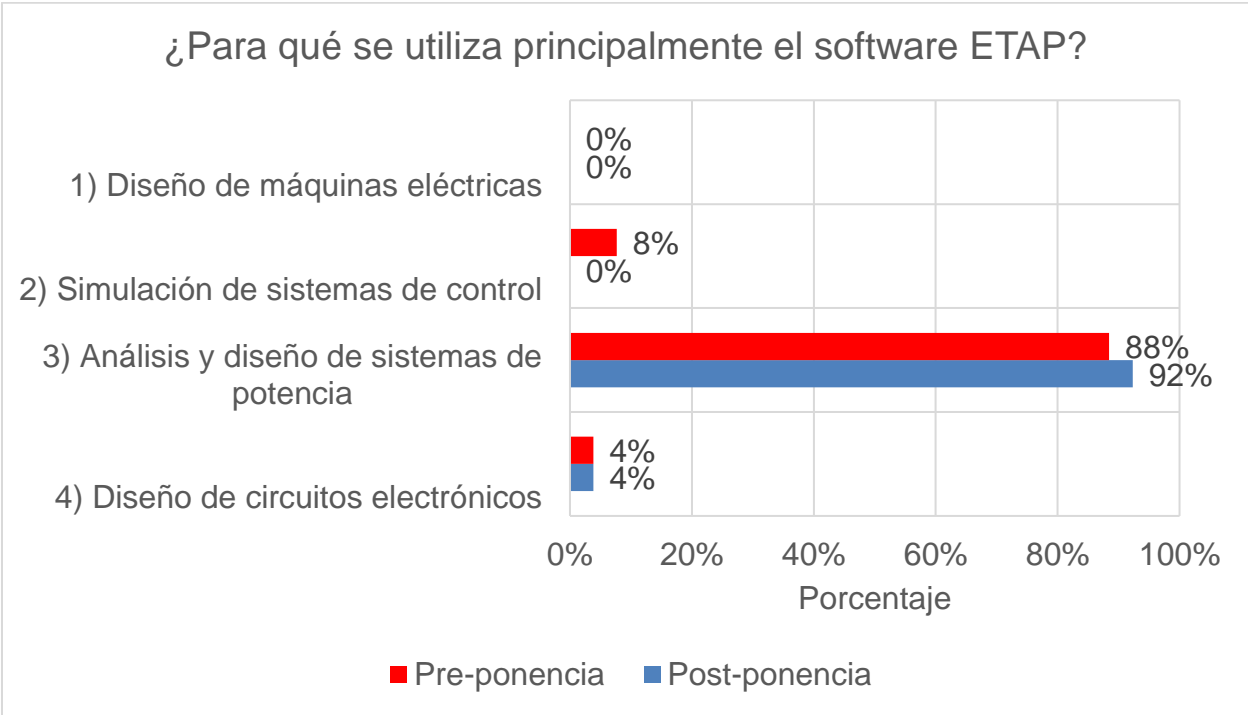
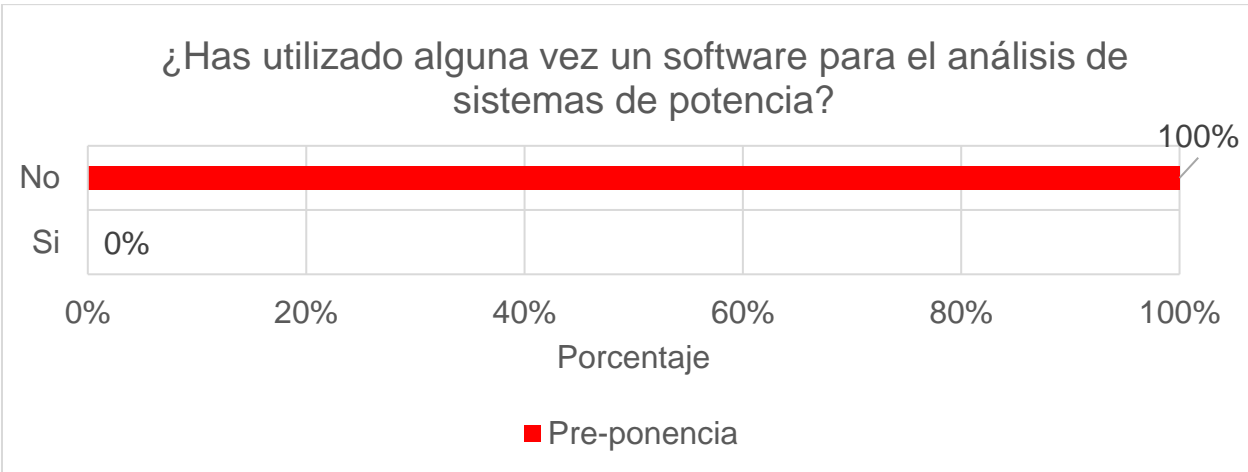
---

---

**A3.3. Resultados**

**Tamaño de muestra:** 26

**Sujetos:** Alumnos de Sistemas de potencia I de la FCyT.



**MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE POTENCIA CON EL SOFTWARE ETAP ENFOCADO AL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA, CONTENIDO DE LA MATERIA DE SISTEMAS DE POTENCIA DE LA FCYT - ANEXO**

