



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN:
“RENOVACIÓN DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE ETAP VERSION 22.5 Y
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA.”**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO/A ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
BR. GRACE BELÉN MARTÍNEZ FLORES
BR. BRENDA LY CRISTABEL HERNÁNDEZ DE DÍAZ
BR. KEVIN ALEXIS ORELLANA CUÉLLAR**

SANTA TECLA, AGOSTO DE 2025



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

DR. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LARREYNAGA
RECTOR

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. OBDULIO ADALBERTO CALVO
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. RENÉ EDUARDO CUÉLLAR FIGUEROA
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

SANTA TECLA, AGOSTO DE 2025



ASESOR DEL DOCUMENTO DE TESIS

ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNÁNDEZ

JURADO EVALUADOR

ING. JOSE WILFREDO MARTÍNEZ LÓPEZ

ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRÓN

ING. RENÉ EDUARDO CUÉLLAR FIGUEROA

SANTA TECLA, AGOSTO DE 2025.

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS DIECISIETE

A las ocho horas y treinta minutos del sábado treinta de agosto de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por GRACE BELEN MARTINEZ FLORES en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"RENOVACION DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE ETAP VERSION 22.5, Y PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA."

Se dio por aprobada, la parte escrita.

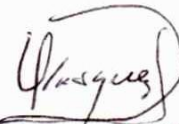
SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de OCHO PUNTO CINCO (85), el Trabajo de Graduación presentado por la alumna arriba detallada obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERA ELECTRICISTA

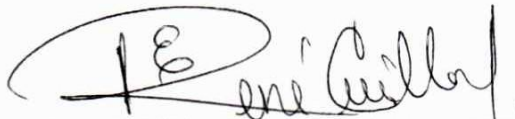
No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



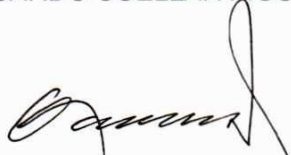
ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ



ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON



ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS DIECIOCHO

A las ocho horas y treinta minutos del sábado treinta de agosto de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por BRENDA LY CRISTABEL HERNANDEZ DE DIAZ en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"RENOVACION DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE ETAP VERSION 22.5, Y PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA."

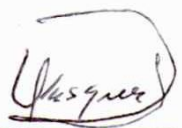
Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de *OCHO PUNTO CINCO (8.5)*, el Trabajo de Graduación presentado por la alumna arriba detallada obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERA ELECTRICISTA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.


ING. JOSÉ WILFREDO MARTÍNEZ LOPEZ


ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON


ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA


ING. ROOSELVEY ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS DIECINUEVE

A las ocho horas y treinta minutos del sábado treinta de agosto de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por KEVIN ALEXIS ORELLANA CUELLAR en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"RENOVACION DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE ETAP VERSION 22.5, Y PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA."

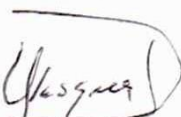
Se dio por aprobada, la parte escrita.

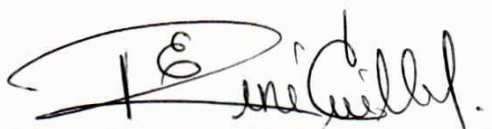
SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de OCHO PUNTO CINCO (8.5), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.


ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ


ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON


ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA


ING. ROOSELVE ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por concederme la sabiduría y fortaleza necesarias para culminar esta etapa académica. Por guiar mis pasos e iluminar mi camino, por brindarme la fuerza en cada momento, en las noches de desvelo, las veces que observe lejos el camino, Gracias, Eterno Dios.

A mi amada madre Consuelo de Hernández, cuyo recuerdo y enseñanzas fueron mi mayor inspiración. Aunque tu presencia física me haga falta, tu espíritu y tus palabras de aliento resonaron en cada paso de este camino. Este logro es tan tuyo como mío.

A mi padre Pedro Hernández, por su amor incondicional, sus consejos y su apoyo constante. Su ejemplo de dedicación y esfuerzo fue un faro que me iluminó en los momentos más oscuros.

A mi esposo Erik Díaz, compañero de vida y cómplice de sueños, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tu apoyo incondicional y tu amor inquebrantable fueron el pilar que sostuvo mi mundo.

A mi hijo Aarón Díaz, mi mayor motivación y mi razón de ser. Su sonrisa y su amor fueron el mejor antídoto contra el estrés y la ansiedad, gracias, hijo por la paciencia y todo tu apoyo incondicional.

A mis hermanos Wilson, Milton, Evelyn y Nohemy, a mi primo Richard y tío Moreno gracias por ser mi refugio, por su comprensión y paciencia durante estos años de sacrificio. Sus palabras de aliento, motivación que me impulsó a seguir adelante, incluso cuando las fuerzas flaqueaban.

A mis compañeros de tesis, Grace Martínez, Kevin Orellana, hemos caminado juntos para lograr llegar a esta meta apoyándonos para no caer en el camino.

Un agradecimiento inmenso para el ing. Morales por compartir su conocimiento y dedicación, abriendo puertas que jamás imaginé cruzar, gracias por confiar en nuestro equipo de trabajo

A mis amigos y compañeros, por sus palabras de aliento y su compañía en los momentos de dificultad. Su amistad fue un bálsamo para el alma y un recordatorio de que no estaba sola. A todos ustedes, gracias de corazón. Este logro no sería posible sin su amor, su apoyo y su confianza.

Brendaly Cristabel Hernández De Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profunda y eternamente a Dios por permitirme culminar con éxito mi carrera universitaria. Siempre puso en mi mente y en mi corazón el deseo de superarme, y estaré siempre agradecido por cuidarme en todo lugar y en todo momento. Especialmente a lo largo de mi formación como ingeniero, siempre estuvo presente protegiéndome en el camino a la universidad, permitiéndome regresar con bien a mi hogar y dándome las energías necesarias para seguir estudiando y realizando mis tareas al llegar.

A mis padres, Luis Orellana y Yeni de Orellana, por estar siempre pendientes de mí y apoyarme en todo lo que pudieron. Gracias por darme mi espacio cuando tenía clases virtuales, por asegurarse de que no hubiera ruidos o distractores, por esperarme con la cena al regresar de clases presenciales y por prepararme café en las madrugadas. Incluso me ayudaron con algunas actividades y, sobre todo, me mostraron cuánto se sienten orgullosos de mí. Gracias por su apoyo incondicional en todos los aspectos: económico, moral y espiritual.

A mis hermanos, Luis Orellana y Erika Orellana, quienes siempre me impulsaron a esforzarme más y me expresaron con orgullo su confianza en mí. Sus palabras me dieron fuerza para comprometerme aún más conmigo mismo y culminar con éxito mi carrera.

A mi prometida, Sofía Molina, quien ha estado presente a lo largo de toda mi formación, dándome el ejemplo de lo que significa ser disciplinado y entregado a la carrera. Incluso cuando sentí que ya no podía más, me recordó que cuando se tiene un sueño grande, las fuerzas siempre están ahí para hacerlo realidad y que los límites solo nos los ponemos nosotros mismos. Gracias por estar pendiente de las fechas de entrega de mis actividades y por motivarme constantemente a buscar la excelencia. Gracias, amor mío.

Al ingeniero Oswaldo Umaña, quien siempre me alentó a seguir adelante y no conformarme con la mediocridad. Con sus experiencias y consejos, me motivó a ser un ingeniero íntegro, mostrándome la importancia de buscar la excelencia en todo lo que haga y guiándome en mis primeros pasos como profesional.

Kevin Alexis Orellana Cuéllar

AGRADECIMIENTOS

El conocimiento es un viaje donde cada desafío es una montaña por escalar y cada logro es la vista desde la cima. En este recorrido, Dios ha sido mi brújula y mi fortaleza, por lo que mi primer agradecimiento es para Él. Agradezco profundamente a Dios por este gran logro, que no ha sido fácil, pero ha sido posible gracias a Él, por darme la oportunidad de superarme y por guiar siempre mi camino.

A mis amados padres, Lucía Flores de Martínez y Hernán Martínez, gracias por todo lo que han hecho por mí, por su apoyo incondicional desde mis primeros pasos. Por cada madrugada en la que mi madre me acompañó para asistir a clases, por cada noche en la que mi padre me esperaba hasta que saliera de la universidad, y por cada desvelo aunque fuera en silencio, me hicieron sentir su apoyo. Gracias por su amor infinito, por darme fuerzas cuando más lo necesitaba y sobre todo gracias por creer en mí.

A mi hermano mayor, Hernán Martínez, por su apoyo, por darme los ánimos para seguir adelante y por ser un ejemplo a seguir para forjar mi propio camino y esforzarme hasta el final.

También quiero agradecer a EXO, porque sus canciones fueron una fuente de ánimo y fuerza en los momentos difíciles donde me ayudaron a no rendirme. Ellos han estado conmigo desde mi primer día de universidad, su música fue mi compañía en las madrugadas de estudio y en las largas horas de desvelo.

A mi equipo de tesis, a Kevin Orellana y en especial a Brendaly Hernández, gracias a ambos por todo su esfuerzo. Más que compañeros, han sido amigos con quien compartí este camino.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor, ingeniero Luís Morales, por enseñarnos, desde sus clases, que la clave del éxito es la perseverancia y la fe. Gracias por compartir con nosotros su conocimiento y por crear un ambiente de confianza en el que siempre encontramos guía y apoyo.

Y, finalmente, a todos aquellos que, de una u otra manera, hicieron posible la realización este logro, mi más sincero agradecimiento.

Grace Belén Martínez Flores

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Título del proyecto	3
1.2.2 Antecedentes	3
1.2.3 Descripción del problema.....	4
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Importancia de la investigación.....	5
1.2.6 Justificación	5
1.3 Alcances del proyecto.....	6
1.4 Limitantes.....	7
1.5 Delimitación del problema	7
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo general	8
1.6.2 Objetivos específicos	8
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	9
2.1 Introducción y funcionalidades	10
2.1.1 Definición y funcionalidades principales.....	10
2.1.2 Aplicaciones en el análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia	12
2.1.3 Importancia del software ETAP 22.5 en la educación e investigación en ingeniería eléctrica	12
2.2 Software ETAP 22.5	13
2.2.1 Comparación de las versiones anteriores y la versión ETAP 22.5	13
2.3 Análisis de flujo de potencia y estabilidad con ETAP	15
2.3.1 Aplicación de ETAP en el análisis de flujo de potencia.....	15
2.3.2 Implementación del método de Gauss-Seidel y Newton-Raphson en ETAP	16
2.3.3 Obtención de ecuaciones lineales	16
2.3.4 Análisis de ecuaciones lineales de Gauss-Seidel y Newton Raphson.....	17
2.3.5 Tratamiento matemático para obtener el conjunto de ecuaciones.....	18
2.3.6 Proceso matemático para las ecuaciones de Gauss-Seidel y Newton Raphson	18
2.3.7 Ejemplo método de Gauss-Seidel	21

2.3.8 Ejemplo método de Newton-Raphson	27
2.3.9 Estudios de estabilidad transitoria y oscilación	28
2.4 Análisis de fallas y protecciones en ETAP	30
2.4.1 Modelado y simulación de fallas simétricas y asimétricas	30
2.4.2 Integración de equipos de protección en ETAP	30
2.4.3 Modelado de equipos de protección.....	31
2.4.4 Análisis de coordinación y selectividad	31
2.4.5 Simulación del funcionamiento de equipos de protección.....	32
2.5 Protección contra fallas: Interruptores, relevadores y reclosers, utilizando ETAP.....	33
2.5.1 Protección contra fallas en sistemas eléctricos	33
2.5.2 Dispositivos de protección	33
2.6 Flujo Óptimo de Potencia (OPF).....	35
2.6.1 Restricciones	36
2.6.2 Función objetivo del OPF:	36
2.6.3 Variables de control:.....	37
2.6.4 Despacho económico: Asigna generación óptima considerando restricciones de red. ...	37
2.7 Análisis y diseño de líneas de transmisión con ETAP	38
2.7.1 Importancia del modelado de líneas de transmisión	38
2.7.2 Parámetros de las líneas de transmisión.....	39
2.7.3 Métodos de modelado en ETAP.....	39
2.7.4 Cálculo de parámetros eléctricos: Resistencia, inductancia, capacitancia.....	41
2.7.5 Comportamiento eléctrico en líneas cortas, medias y largas	45
2.7.6 Evaluación de impedancia y admitancia en líneas de transmisión	50
2.8 Diseño de redes de distribución con ETAP.....	53
2.8.1 Principios de diseño de redes de distribución utilizando ETAP	53
2.8.2 Topología de la red y su modelado en ETAP	54
2.8.3 Configuración y parametrización básica de generadores.....	55
2.8.4 Configuración y parametrización básica de buses	56
2.8.5 Configuración y parametrización básica de transformadores	57
2.8.6 Configuración y parametrización básica de cargas estáticas	58
2.8.7 Configuración y parametrización básica de líneas de transmisión	59

CAPITULO III: PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN EL SOFTWARE ETAP-I. 62

3.1 Modulo I: Manejo de ETAP.....	63
3.1.1 Menú y barras de herramientas	63
3.1.2 Diagramas unifilares	64
3.1.3 Configuración del proyecto.....	65
3.2 Modulo II. Manejo de librerías ETAP	67
3.2.1 Manejo de librerías de ingeniería.....	67
3.2.2 Librerías de cables BT y MT	68
3.2.3 Librería de motores en BT y MT	70
3.2.4 Librería de relés	71
3.2.5 Librería de interruptores BT y MT.....	71
3.3 Módulo III: Modelado de red en ETAP	73
3.3.1 Gestión de proyectos y datos	73
3.3.2. Base de datos de casos de estudio.....	75
3.4 Módulo IV: Estudio y análisis de flujo de carga con ETAP	78
3.4.1 Fundamentos técnicos	78
3.4.2 Herramientas y funciones del software ETAP	79
3.4.3 Modo de estudio de flujo de potencia de ETAP.....	81
3.5 Módulo V: Estudio de compensación reactiva en ETAP	84
3.5.1 Fundamentos técnicos	84
3.5.2 Herramientas y funciones del software ETAP	85
3.5.3 Estudio de compensación reactiva con software ETAP	87
3.6. Modulo VI: Estudio y análisis de cortocircuito IEC en ETAP	89
3.6.1 Fundamentos técnicos	89
3.6.2 Herramientas y funciones del software ETAP	91
3.6.3 Modo de estudio de cortocircuito.....	92
3.6.4 Estudio de cortocircuito IEC y verificación del equipamiento con el software ETAP. .	93
3.7 Módulo VII: Estudio y análisis de cortocircuito ANSI/IEEE en ETAP.....	96
3.7.1 Fundamentos técnicos	96
3.7.2 Herramientas y funciones del software ETAP.....	97
3.7.3 Estudio de cortocircuito ANSI y verificación del equipamiento con el software ETAP .	98
3.8 Módulo VIII: Estudio de armónicos en ETAP	99

3.8.1 Fundamentos técnicos	99
3.8.2 Herramientas y funciones del software ETAP	104
3.8.3 Estudio de armónicos con software ETAP	106
3.8.4 Análisis de los resultados y reportes	107
CAPITULO IV: PRÁCTICAS DE LABORATORIO	109
PRACTICA N°1.....	110
TEMA: ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA.....	110
PRACTICA N°2.....	123
TEMA: PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION.....	123
PRACTICA N°3.....	134
TEMA: ANALISIS DE FALLAS	134
PRACTICA N°4.....	145
TEMA: ANALISIS DE FALLAS Y PROTECCIONES.....	145
PRACTICA N°5.....	154
TEMA: DESPACHO ECONÓMICO “OPF”	154
PRACTICA N°6.....	162
TEMA: ANALISIS DE ARMONICOS	162
PRACTICA N°7.....	169
TEMA: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN LARGAS, MEDIAS Y CORTAS	169
PRACTICA N°8.....	175
TEMA: MODELADO DE REDES DE DISTRIBUCION.....	175
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	178
5.1 Conclusiones	179
5.2 Recomendaciones.....	180
5.3 Guía para el Proceso de renovación de la licencia del software ETAP.....	181
5.4 Bibliografía.....	184
5.5 Anexos.....	186
5.5.1 Presupuesto	186
5.5.2 Cronograma de actividades	187
5.5.3 Carta de solicitud de renovación de ETAP	188
5.5.4 Información de contactos	189
5.5.5 Instalación y prueba de software ETAP 22.5 en laboratorio de informática.....	190

5.5.6 Entrega de licencias renovadas de ETAP 22.5	192
5.5.7 Desarrollo de prácticas de laboratorio	193
5.5.8 Asistencia de alumnos a prácticas de laboratorio de ETAP 22.5.	195
5.5.9 Características del Software	196

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama unifilar para ejemplo del libro Análisis de Sistemas de Potencia John Grainger, Stevenson.	22
Figura 2. Estabilidad transitoria.	29
Figura 3. Power Grid Editor.	38
Figura 4. Circuito equivalente de una línea de transmisión corta.	45
Figura 5. circuito nominal pi de una línea de transmisión de longitud media.	46
Figura 6. Diagrama esquemático de una línea de transmisión que muestra una fase y el neutro de regreso.	47
Figura 7. Editor de línea de transmisión.	53
Figura 8. Información básica de un generador en ETAP.	55
Figura 9. Equipo y configuración de un generador en ETAP.	56
Figura 10. Equipo y Configuración de un generador en ETAP.	56
Figura 11. Configuración de bus en ETAP.	57
Figura 12. Equipo y configuración de un transformador en ETAP.	57
Figura 13. Configuración de un transformador en ETAP.	58
Figura 14. Equipo y configuración de un transformador en ETAP.	58
Figura 15. Equipo y Configuración de una carga en ETAP.	59
Figura 16. Equipo y configuración de una carga en ETAP.	59
Figura 17. Equipo y configuración de una línea de transmisión en ETAP.	59
Figura 18. Equipo y configuración de una línea de transmisión en ETAP.	60
Figura 19. Configuración de línea de transmisión.	61
Figura 20. Interfaz software ETAP.	63
Figura 21. Barra de herramientas de modo de simulación de ETAP.	63
Figura 22. Elementos AC de ETAP.	65
Figura 23. Estándares del proyecto.	66
Figura 24. Información básica de un proyecto en ETAP.	66
Figura 25. Barra de herramientas librería.	68
Figura 26. Librería de cables.	68
Figura 27. Librería de motor.	70
Figura 28. Librería de relés.	71
Figura 29. Librería de interruptor de estado sólido.	72
Figura 30. Creación de configuraciones.	76
Figura 31. flujo de carga.	79
Figura 32. Barra de herramientas de análisis de Flujo de carga.	79
Figura 33. Analizador de flujo de carga.	81
Figura 34. Caso de estudio de flujo de carga.	81
Figura 35. Parametrización de estudio de flujo de carga.	82
Figura 36. Configuración de alertas para análisis de flujo de carga.	83
Figura 37. Triangulo de factor de potencia.	85
Figura 38. Icono de Optimal capacitor placement y Caso de estudio.	86
Figura 39. Parametrización de Optimal Capacitor.	86
Figura 40. Parametrización de Capacitor.	88
Figura 41. Tipos de fallas.	90
Figura 42. Barra de herramientas cortocircuito IEC.	91
Figura 43. Caso de estudio de cortocircuito IEC.	92

Figura 44. Parametrización de cortocircuito convencional.....	93
Figura 45. Parametrización de cortocircuito IEC.	94
Figura 46. Configuración de Normas.....	95
Figura 47. Barra de herramientas de cortocircuito ANSI.	97
Figura 48. Parametrización de estudio de cortocircuito ANSI.	98
Figura 49. Análisis de Armónicos.....	99
Figura 50. Grafica de impedancia vs orden de Armónicos.....	103
Figura 51. Gráfico de frecuencia voltaje /tiempo.	104
Figura 52. Parametrización de estudio de Armónicos.	105
Figura 53. Editor filtro de Armónicos.....	106
Figura 54. Creación de nuevo proyecto.	112
Figura 55. Pantalla de creación de un nuevo proyecto en ETAP.	113
Figura 56. Pantalla usuario para proyecto ETAP.	113
Figura 57. Barra de herramientas de modo simulación	114
Figura 58. Barra de herramientas Load Flow.....	115
Figura 59. Componentes básicos para crear diagramas unifilares en ETAP.....	116
Figura 60. Diagrama unifilar practica Gauss Seidel.	116
Figura 61. Barra de herramientas Load Flow.....	118
Figura 62. Configuración de parámetros de generador.....	119
Figura 63. Configuración de parámetros para la carga.	119
Figura 64. Configuración de parámetros del transformador.	120
Figura 65. Configuración de parámetros para impedancias.....	120
Figura 66. Barra de herramientas Load Flow Study case.	121
Figura 67. Configuración en Load Flow Study Case Editor.....	121
Figura 68. Diagrama unifilar para practica 2.	125
Figura 69. Configuración del Generador eléctrico.	126
Figura 70. Configuración de una línea de transmisión de práctica 2.....	127
Figura 71. Configuración de Motores sincrónicos.....	131
Figura 72. Configuración para una Carga.....	131
Figura 73. Configuración de capacitores.	132
Figura 74. Diagrama de flujo de potencia para análisis de fallas.	137
Figura 75. Editor Power Grid.....	138
Figura 76. Configuración de parámetros Power Grid.....	138
Figura 77. Editor Bus.....	139
Figura 78. Editor Transformador.....	139
Figura 79. Configuración de conexión de transformador	140
Figura 80. Configuración Líneas de transmisión.....	140
Figura 81. Parámetros de motor.	141
Figura 82. Parámetros de carga.....	142
Figura 83. Simulación de fallas de cortocircuito.	142
Figura 84. Circuito de Flujo de potencia para análisis de fallas.	146
Figura 85. Editor de cables.	148
Figura 86. Editor de cable para librería.	148
Figura 87. Librería de cables.	149
Figura 88. Selección de cable.	149
Figura 89. Ampacidad de cable.....	150

Figura 90. Librería de fusibles.	151
Figura 91. Librería de fusibles.	151
Figura 92. Simulador Star Protection.	152
Figura 93. Herramientas de simulador de protecciones.	152
Figura 94. Diagrama unifilar caso de estudio de flujo óptimo de carga.	156
Figura 95. Parámetros Fuel Coast de un generador.	157
Figura 96. Simulador Optimal Power Flow.	158
Figura 97. Editor caso de estudio OPF.	158
Figura 98. Parametrización Editor caso de estudio OPF.	158
Figura 99. Configuración de objetivos de OPF.	159
Figura 100. Icono Run Optimal Flow.	159
Figura 101. Simulación de flujo óptimo de potencia.	160
Figura 102. Modificación de objetivos OPF.	160
Figura 103. Simulación de circuito de flujo optimo con voltaje estable.	161
Figura 104. Circuito de Análisis de Armónicos.	163
Figura 105. Diagrama de flujo de potencia con interruptor desactivado.	165
Figura 106. Simulador de Armónicos.	166
Figura 107. Herramientas de Simulador de Armónicos.	166
Figura 108. Configuración de Nivel de Armónico.	166
Figura 109. Diagrama de flujo te potencia de líneas de transmisión.	170
Figura 110. Editor de Bus.	170
Figura 111. Configuración de Parámetros de generador.	171
Figura 112. Configuración de parámetros de transformador.	172
Figura 113. Configuración de Impedancia del transformador.	172
Figura 114. Parámetros de Líneas de Transmisión.	173
Figura 115. Diagrama de flujo de potencia de distribución.	176
Figura 116. Help Center de ETAP.	182
Figura 117. Entorno de Help Center de ETAP.	182
Figura 118. Centro de descargas de Help Center de ETAP.	183
Figura 119. Archivos de descarga de ETAP 22.5.	183

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de ETAP 22.5 y la versión ETAP 19.0.....	14
Tabla 2. Datos de líneas de transmisión.....	22
Tabla 3. Datos de barras.....	22
Tabla 4. Tabla de matriz de admitancias.....	23
Tabla 5. Datos de buses para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.....	117
Tabla 6. Datos de generadores para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.....	117
Tabla 7. Datos de cargas para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.....	117
Tabla 8. Datos de líneas de transmisión para circuito GS-Newton Raphson.....	117
Tabla 9. Parámetros para Generadores eléctricos.....	126
Tabla 10. Parámetros para Buses.....	127
Tabla 11. Parámetros para Línea de transmisión #1.....	128
Tabla 12. Parámetros para Línea de transmisión #2.....	128
Tabla 13. Parámetros para Línea de transmisión #3.....	129
Tabla 14. Parámetros para Transformador #1.....	129
Tabla 15. Parámetros para Transformador #2.....	130
Tabla 16. Parámetros para Motores.....	130
Tabla 17. Parámetros para Cargas.....	131
Tabla 18. Parámetros para condensadores.....	132
Tabla 19. Parámetros de Buses.....	147
Tabla 20. Parámetros Power Grid.....	147
Tabla 21. Parámetros de cargas 1 y 2.....	147
Tabla 22. Parámetros de transformador para practica 3.....	150
Tabla 23. Resultados de simulación de short circuit.....	152
Tabla 24. Resultado simulación Sequence Viewer en la carga 1.....	153
Tabla 25. Resultado de simulación Sequence Viewer en carga 2.....	153
Tabla 26. Resultado de falla en Bus 2.....	153
Tabla 27. Parámetros de Generadores.....	156
Tabla 28. Parámetros de cables.....	157
Tabla 29. Parámetros de cargas.....	157
Tabla 30. Parámetros Power Grid.....	163
Tabla 31. Parámetros Transformador.....	163
Tabla 32. Parámetros de Carga 1.....	164
Tabla 33. Parámetros de carga 2.....	164
Tabla 34. Parámetros de motor 1.....	164
Tabla 35. Parámetros de motor 2.....	164
Tabla 36. Parámetros de variador 1 y 2.....	164
Tabla 37. Parámetros de cables.....	165
Tabla 38. Parámetros de filtro de Armónicos.....	167
Tabla 39. Parámetros de Buses 1 y 2.....	170
Tabla 40. Parámetros de Generador 1 y 2.....	171
Tabla 41. Parametros de transformadores.....	171
Tabla 42. Parámetros de Cargas.....	173
Tabla 43. Parámetros para Línea de Transmisión.....	173
Tabla 44. Parámetros de carga.....	176
Tabla 45. Parámetros de transformador.....	176

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación: (1).....	17
Ecuación: (2).....	19
Ecuación: (3).....	19
Ecuación: (4).....	19
Ecuación: (5).....	19
Ecuación: (6).....	19
Ecuación: (7).....	19
Ecuación: (8).....	19
Ecuación: (9).....	20
Ecuación: (10).....	20
Ecuación: (11).....	20
Ecuación: (12).....	20
Ecuación: (13).....	21
Ecuación: (14).....	21
Ecuación: (15).....	21
Ecuación: (16).....	24
Ecuación: (17).....	24
Ecuación: (18).....	25
Ecuación: (19).....	25
Ecuación: (20).....	26
Ecuación: (21).....	26
Ecuación: (22).....	41
Ecuación: (23).....	43
Ecuación: (24).....	44
Ecuación: (25).....	45
Ecuación: (26).....	45
Ecuación: (27).....	46
Ecuación: (28).....	46
Ecuación: (29).....	47
Ecuación: (30).....	47
Ecuación: (31).....	51
Ecuación: (32).....	51
Ecuación: (33).....	51
Ecuación: (34).....	155
Ecuación: (35).....	177

GLOSARIO

A

Admitancia: Es una magnitud que mide la facilidad con la que una corriente eléctrica puede pasar por un circuito.

Ampacidad: Es la corriente máxima que un conductor eléctrico puede transportar de forma segura sin exceder su temperatura nominal.

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de estándares.

B

Barra PQ: Es un nodo de interconexión o un nodo que tiene potencia de carga activa y reactiva en un sistema eléctrico de potencia.

Barras PV: Es un nodo en un sistema eléctrico donde se especifica la tensión y la potencia activa.

Barra Slack: Es un nodo del sistema eléctrico que se utiliza para inyectar o absorber potencia activa y reactiva.

C

Capacitancia: Es la capacidad de un componente o circuito para almacenar energía eléctrica, se mide en Faradios.

Conductancia: Es una propiedad eléctrica que mide la facilidad con la que la corriente fluye a través de un material.

D

D.U: Diagrama Unifilar.

E

ETAP: Programa de Análisis y Transitorios Eléctricos, creada para el modelado, diseño , optimización de sistemas de potencia.

F

FLA: Amperios a Carga Completa.

FP: Factor de potencia.

I

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional.

IEEE: Instituto de ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

Inductancia: Es una propiedad de los circuitos eléctricos que mide la relación entre la fuerza electromotriz y la variación de corriente, se mide en henrios.

Interfaz de Usuario: Es el medio por el cual los usuarios interactúan con un sistema, dispositivo o aplicación.

L

LP: Programación lineal.

O

OCP: Módulo de Optimal Capacitor Placement.

OPF: Flujo Optimo de Potencia.

OTI: Es la dirección de archivo ETAP.

Q

QP: Programación cuadrática.

R

Resistencia: Es la oposición que un material ofrece al paso de la corriente.

Resistividad: Es la propiedad de un material que mide la oposición que presenta al paso de la corriente.

RHO: Resistividad térmica del suelo.

RTS: Tiempo real de simulación.

S

SCADA: Control supervisor y adquisición de datos, es un sistema de control que supervisa y recopila datos de tiempo real.

SEP: Sistema eléctrico de potencia .

SETISA: Servicios Técnicos de Ingeniería S.A de C.V.

STATCOM: Compensador síncrono estático, es un dispositivo electrónico que regula el voltaje de la red eléctrica.

Susceptancia: Es la parte imaginaria de la admitancia de un circuito eléctrico se mide en Siemens.

T

Tap: Es un punto de conexión en los devanados que permite ajustar el voltaje.

TCC: Curvas Tiempo Corriente.

THD: Distorsión Armónica Total.

THDI: Distorsión Armónica de Corriente.

THDV: Distorsión Armónica de Voltaje.

U

UPS: Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

X

X': Reactancia transitoria.

X_d: Reactancia sincrónica.

X_d'': Reactancias Subtransitoria.

CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

En el ámbito de la ingeniería eléctrica, la simulación computacional se ha convertido en una herramienta fundamental para el diseño y análisis de sistemas de potencia. La Universidad Técnica Latinoamericana (UTLA) ha reconocido esta necesidad, adoptando el software ETAP como un recurso clave en la formación de sus estudiantes. Este software permite la simulación precisa de una variedad de escenarios eléctricos, facilitando la enseñanza práctica en áreas como el análisis de cortocircuitos, el diseño de sistemas de protección y los flujos de carga.

Sin embargo, con el reciente vencimiento de las licencias de ETAP versión 19.0.1, la UTLA enfrenta el desafío de mantener la calidad de su formación práctica. Este documento presenta el anteproyecto para la renovación de la licencia de ETAP a la versión 22.5, junto con la implementación de un programa de especialización para capacitar al personal en el uso avanzado de esta herramienta. La actualización a la nueva versión no solo garantizará la continuidad de la enseñanza de alta calidad, sino que también posicionará a la UTLA a la vanguardia de la educación en ingeniería eléctrica, respondiendo a las demandas actuales del sector energético.

Este proyecto es crucial para asegurar que los estudiantes de la UTLA sigan recibiendo una formación competitiva y actualizada, preparándolos adecuadamente para los retos del mercado laboral. La implementación de nuevas licencias y la formación del personal contribuirán significativamente al desarrollo de profesionales altamente capacitados, capaces de innovar y liderar en un entorno tecnológico en constante evolución.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Título del proyecto

“RENOVACIÓN DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE ETAP VERSION 22.5 Y PROGRAMA DE ESPECIALIZACION PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA.”

1.2.2 Antecedentes

La simulación por computadora actualmente es una herramienta esencial en el campo de la ingeniería, especialmente en el diseño y análisis de sistemas eléctricos. El software ETAP, es ampliamente reconocido por su capacidad para realizar simulaciones precisas de sistemas de potencia, por ello la Universidad Técnica Latinoamericana (UTLA) ha utilizado este software como una valiosa herramienta en la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica. El uso del software ETAP permite adquirir experiencia práctica esencial a los estudiantes en campos como el análisis de cortocircuitos, diseño de protecciones, flujos de carga, entre otros.

En años anteriores, en la Universidad Técnica Latinoamericana se implementó un programa que incluía la adquisición de 25 licencias educativas de ETAP, las cuales tenían una vigencia de 3 años. Las licencias permitieron la enseñanza práctica de materias esenciales como Sistemas de potencia I y II, Diseño de sistemas de protección y Diseño de líneas de transmisión, contribuyendo a que los estudiantes adquirieran habilidades con esta herramienta que es utilizada en el ámbito laboral.

Actualmente, con el vencimiento de estas licencias, la UTLA no solo se enfrenta a la falta de actualización del software ETAP, sino también de no contar con el personal capacitado para impartir las prácticas de laboratorio para las materias que dependen de este software. El desafío actual radica en renovar las licencias a una versión más reciente (22.5) la cual cambiará para una mejor experiencia utilizando el software y con ello implementar un programa de especialización para la capacitación de instructores. La obtención de nuevas licencias para la universidad y la formación del personal deben renovarse para garantizar que los estudiantes de ingeniería eléctrica reciban una formación adecuada y relevante.

1.2.3 Descripción del problema

La Universidad Técnica Latinoamericana se ha visto afectada en su calidad de formación práctica para los estudiantes de ingeniería eléctrica debido al vencimiento de las licencias del software ETAP, la cual es una herramienta que ayuda a la simulación de sistemas de potencia, protecciones eléctricas, dimensionamiento de cables, entre otros campos relacionados a la electricidad, por lo cual su uso es esencial para la formación tanto académica como para el ámbito laboral.

El centro de cómputo de la UTLA contaba hasta hace poco con 25 licencias educativas de ETAP, las cuales permitían a los estudiantes adquirir práctica con las simulaciones enfocadas a las distintas áreas de electricidad fundamentales en el mercado laboral. Hoy en día, el laboratorio de ingeniería eléctrica ha perdido el acceso a esta herramienta vital debido a estas licencias vencidas, la cual tuvo una duración de 3 años. Por otro lado, no se cuenta con el personal capacitado para la utilización de ETAP y las últimas versiones del software, lo que empeora la situación.

Al no seguir un proceso de renovación para las licencias vencidas y no tener el personal capacitado se ha generado un impacto negativo para la enseñanza de los estudiantes para llevar a cabo sus prácticas de laboratorio, lo que a su vez afecta la capacidad de la universidad para competir y brindar una educación de calidad que prepare a futuros profesionales para el mercado laboral.

Renovar las licencias del software ETAP y capacitar al personal se ha convertido en una necesidad crucial para la formación de los estudiantes, que a futuro traerán muchos beneficios. Con estas acciones, la Universidad Técnica Latinoamericana se mantendrá a la vanguardia en tecnología educativa, garantizando una formación integral y de alta calidad para los estudiantes de ingeniería eléctrica.

1.2.4 Formulación del problema

Debido a que las 25 licencias educativas del software ETAP instaladas en el centro de cómputo de la Universidad Técnica Latinoamericana han expirado y no se dispone de guías claras para su actualización, sumado a la falta de personal capacitado para realizar laboratorios con dicho software, es imperativo renovar y actualizar la versión 19.0.1 de ETAP, que estuvo en uso en los

laboratorios hasta abril de 2024, a la versión 22.5. Esta actualización, que tendrá una vigencia de dos años y medio, permitirá mejorar la eficiencia y calidad de los laboratorios.

1.2.5 Importancia de la investigación

El desarrollo de esta investigación es vital para restaurar y mejorar la calidad de la formación práctica de los estudiantes de ingeniería eléctrica en la Universidad Técnica Latinoamericana. La renovación de las licencias de ETAP y la capacitación del personal no solo permitirá a los estudiantes acceder nuevamente a una herramienta esencial en su educación, sino que también asegurará que la universidad siga ofreciendo un currículo actualizado y competitivo.

La investigación también tiene un impacto a largo plazo, donde se busca no perder acceso a este software puesto que ayuda a la formación de ingenieros electricistas competentes, contribuye al desarrollo del sector energético del país y a la innovación en el diseño de sistemas eléctricos más eficientes y seguros. Por lo tanto, este proyecto no solo responde a una necesidad académica inmediata, sino que también promueve el avance tecnológico y el crecimiento profesional de los estudiantes, posicionando a la UTLA como una institución comprometida con la excelencia educativa.

1.2.6 Justificación

Renovar la licencia del software ETAP, capacitar al personal y a los estudiantes en su uso especializado generará los siguientes beneficios a la universidad:

- Mejora en la calidad educativa: La actualización del software permitirá a la Universidad Técnica Latinoamericana ofrecer una formación actualizada y relevante, lo que incrementa la calidad de la enseñanza y la competitividad de sus egresados en el mercado laboral.
- Actualizar conocimientos de los estudiantes de ingeniería eléctrica de la UTLA: El uso de versiones más modernas y completas de ETAP ayuda en la actualización de nuevos conocimientos y análisis de sistemas eléctricos.
- Optimización de recursos: La capacitación especializada permitirá un uso más eficiente del software, lo que se traducirá en análisis más rápidos y precisos, y en una mejor utilización de los recursos disponibles en el laboratorio.

La actualización de ETAP a la versión 22.5 también tiene un impacto directo en las capacidades de investigación y desarrollo (I+D) del laboratorio de ingeniería eléctrica:

- Nuevas oportunidades de investigación: La versión 22.5 de ETAP ofrece herramientas avanzadas para la simulación y análisis de sistemas eléctricos, lo que abre nuevas oportunidades para la investigación en áreas como la integración de energías renovables, la estabilidad de redes eléctricas, y la optimización de sistemas inteligentes.
- Colaboración con la industria: Con un software actualizado y un equipo capacitado, la universidad estará en una mejor posición para colaborar con la industria en proyectos de investigación aplicada, que no solo benefician a los estudiantes, sino que también pueden resultar en innovaciones y avances tecnológicos.
- Desarrollo de proyectos piloto: La nueva versión de ETAP permite la simulación en tiempo real y el modelado de microrredes, lo que es esencial para desarrollar proyectos piloto en colaboración con empresas energéticas, contribuyendo al desarrollo sostenible y la innovación en el sector.

1.3 Alcances del proyecto

- Renovación de las 25 licencias educativas versión 22.5 de ETAP.
- Instalación de la nueva versión del software ETAP en el centro de cómputo de ingeniería eléctrica.
- Configuración y prueba del software para asegurar su correcto funcionamiento y compatibilidad con los sistemas existentes en el laboratorio.
- Certificación a los integrantes del equipo como a un docente de laboratorio, por medio de una diplomado internacional “Programa de especialización en el software ETAP” impartido por INEL Escuela Técnica de Ingeniería.
- Elaboración de 8 guías prácticas de laboratorio del software ETAP para aprovechar las capacidades mejoradas del software para simular escenarios más complejos y realistas. Estas guías serán útiles para las asignaturas de Sistema de Potencia I y II, Diseño de Líneas de Transmisión, entre otras.

- Diseño de una guía para garantizar que las licencias de ETAP se mantengan actualizadas durante su vigencia y sus pasos a seguir para su renovación una vez que haya expirado la licencia que se posea.

1.4 Limitantes

Se dispone de información limitada sobre los procedimientos logísticos y administrativos necesarios para gestionar y llevar a cabo el proceso de renovación de la licencia del software ETAP, lo que dificulta su implementación eficiente.

El software ETAP 22.5 solo se podrá instalar en 24 equipos para los estudiantes y una computadora principal.

Las licencias del software ETAP 22.5 tiene fecha de caducidad hasta el 21 de noviembre del 2026.

El material del curso no está disponible para ser consultado en modo offline, lo que genera dependencia de una conexión estable a internet. Además, ciertos archivos del curso no son compatibles con la versión de ETAP instalada en los ordenadores disponibles para los miembros de la tesis, lo que puede dificultar la realización de prácticas y ejercicios.

El software ETAP 22.5 requiere cumplir con especificaciones mínimas de hardware y software, lo que limita su instalación en algunos equipos del laboratorio que no cumplen con estos requisitos.

1.5 Delimitación del problema

Este estudio se encargará del proceso de renovación de la licencia del software ETAP versión 22.5 en 25 equipos de los laboratorios de informática de la Universidad Técnica Latinoamericana, así como el diseño de prácticas de laboratorio relacionado con el uso de este software.

La renovación de la licencia del software tiene una vigencia hasta 21 de noviembre de 2026, lo que permitirá a los estudiantes que cursen las materias en el periodo de vigencia del software de la universidad para adquirir habilidades prácticas competentes en el ámbito laboral profesional.

Se realizarán 8 guías prácticas para los laboratorios de la universidad para que los estudiantes puedan poner en práctica sus conocimientos teóricos donde se verá la aplicación de las siguientes materias Sistemas de potencia I y II y Líneas de transmisión.

Se dará seguimiento a la implementación a los laboratorios durante el ciclo II-2024 y se certificará a un encargado de laboratorio para que continúe con las prácticas de laboratorio.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Optimizar los recursos académicos y garantizar la actualización tecnológica de los laboratorios de ingeniería eléctrica a través de la renovación de licencia de software ETAP 22.5 con el fin de mejorar la calidad de enseñanza, investigación y desarrollo de proyectos en el área de sistemas eléctricos de potencia.

1.6.2 Objetivos específicos

- Investigar los requisitos y procedimientos necesarios para la renovación de la licencia ETAP identificando los beneficios y ventajas que esta actualización puede ofrecer a la universidad y alumnos.
- Adquirir la renovación de la licencia más reciente del software ETAP 22.5 con una vigencia de 2 años y medio, y se realizará un manual para las futuras renovaciones de la licencia del software.
- Desarrollar temas de las materias de Sistemas de potencia I y II, Sistemas de distribución eléctrica y Líneas de transmisión eléctrica que se apliquen al software ETAP.
- Diseñar un programa de prácticas de laboratorio que permita a los estudiantes adquirir experiencia con el uso y manejo del software para las materias de sistemas de potencia, líneas de transmisión.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Introducción y funcionalidades

2.1.1 Definición y funcionalidades principales

ETAP (Electric Transient and Análisis Program), es una herramienta de software de simulación y análisis de sistemas de energía eléctrica ampliamente utilizada en la industria eléctrica y en la ingeniería de potencia.

Este software permite modelar, simular, analizar y optimizar sistemas eléctricos complejos para garantizar su confiabilidad, eficiencia y seguridad operativa brindando solución integral que abarca desde el diseño inicial hasta la operación y mantenimiento de sistemas de energía eléctrica.

ETAP es una plataforma gemela digital de operaciones y diseño eléctrico, líder en el mundo para infraestructura, construcción e industria, ETAP tiene su sede en Irvine, California. Son más de 20.000 empresas en todo el mundo confían en ETAP para desbloquear la eficiencia y la sostenibilidad total en todas las etapas del ciclo de vida de edificios, industrias e infraestructura impulsada por la excelencia, la innovación y la satisfacción del cliente durante más de 35 años, ETAP está respaldada por la dedicación de más de 1000 empleados y una sólida comunidad de usuarios activos con operaciones en todo el mundo. (etap, 2024)

El software ETAP, proporciona una serie de funcionalidades y mejoras para la solución integral de los sistemas eléctricos se mencionan a continuación.

Modelado de Sistemas: Permite crear modelos detallados de los componentes de un sistema eléctrico, como generadores, transformadores, interruptores, cables, etc., con la capacidad de representar características eléctricas y físicas precisas.

Análisis de flujo de carga desbalanceado: Este módulo permite calcular las tensiones de bus, los factores de potencia de ramificación, las corrientes y los flujos de potencia en todo el sistema eléctrico. Este módulo además permite la oscilación, la tensión regulada, y las fuentes de energía no regulada con múltiples redes eléctricas y conexiones de generador.

Gestor de licencias ETAP de arco eléctrico: Tiene una amplia variedad de etiquetas de seguridad de peligro de arco eléctrico de calidad profesional en varios idiomas, inglés, español, francés y portugués. El software de análisis de seguridad de arco eléctrico imprime automáticamente las etiquetas de arco eléctrico basadas en la energía de arco eléctrico más alta de

todos los modos de operación de la red del sistema de energía eléctrica también brinda la capacidad de crear e imprimir etiquetas de seguridad personalizadas de arco eléctrico basadas en diferentes estándares y requisitos de seguridad. (etap, 2024)

Aislamiento lateral de línea con reducción de energía ArcBlok: Permite el modelado de gemelos digitales de Schneider Electric Arcblock, que limita la exposición a la energía incidente y reducir la probabilidad de fallas por arcos eléctricos en la línea, con el objetivo de reducir la probabilidad de fallas por arco eléctricos en la línea, mejorar la seguridad y minimizar daños al equipo. (etap, 2024)

GridCode: ETAP utiliza un gemelo digital eléctrico impulsado por modelos con análisis automatizados, cálculos predictivos, optimización de red, procesos de validación y hardware de control de planta de energía inteligente además de ser seguro para garantizar el cumplimiento del código de la red local o los estándares en todo el diseño del sistema de energía. (etap, 2024)

Evaluación de la fiabilidad y análisis de armónicos: Este módulo consiste en evaluar la disponibilidad y calidad del suministro eléctrico en cada entrada de servicio al cliente, permite simular fuentes de voltaje y corriente armónica, identificar problemas armónicos, reducir disparos molestos, diseñar y probar filtros e informar violaciones de límites de distorsión de corriente y voltaje armónico.

eTrax: Es una herramienta informática validadas y fácil de usar, flexibles para diseñar, analizar y gestionar infraestructuras ferroviarias de corriente alterna y continua. Permite el modelado virtual sincronizado y la relación entre el diagrama inteligente de una línea y la visualización de los activos espaciales.

Diagrama unifilar de tracción: Este Posee una interfaz fácil de usar para administrar la base de datos de la red ferroviaria y se utiliza para la visualización esquemática de la red.

El diagrama unifilar de tracción se usa para modelar, monitorear y administrar redes eléctricas de manera interactiva, así como para ejecutar escenarios de simulación y analizar sus resultados de una manera simple e intuitiva. Otras características incluyen la anidación multinivel de subsistemas, símbolos multicolores, interfaces para la gestión de dispositivos de conmutación y una base de datos multidimensional única.

Editor de rutas y rutas geoespaciales: Posee herramientas automatizadas para identificar gráficamente y construir rutas de extremo a extremo. Las opciones avanzadas de codificación de colores eliminan las conjeturas y visualizan a simple vista todas las rutas posibles en el sistema de tracción.

2.1.2 Aplicaciones en el análisis y diseño de sistemas eléctricos de potencia

ETAP contiene un potente conjunto de productos de software de análisis y optimización para el diseño, simulación y la planificación de sistemas eléctricos. En el ámbito de los sistemas eléctricos de potencia, la aplicación y el diseño juegan un papel fundamental para garantizar un suministro eléctrico confiable, eficiente y seguro. Algunas de las principales áreas de aplicación y diseño en sistemas eléctricos de potencia incluyen:

Integración de energías renovables, generación distribuida: Permite a los diseñadores e ingenieros conceptualizar los sistemas de colectores, determinar la penetración de la energía eólica y fotovoltaica y realizar estudios de interconexión de redes. Incluye modelos integrales de energía renovable combinados con cálculos de análisis de sistemas de potencia de espectro completo para simulación precisa, análisis predictivo, dimensionamiento de equipos y verificación de campo de parques eólicos, granjas solares y otros recursos de energía distribuida renovable (DER).

Sistemas de transmisión: El software del sistema de transmisión ETAP Grid integra la planificación de la red de transmisión con modelos detallados de subestaciones, procesamiento de la topología de la red, análisis del sistema de transmisión, SCADA eléctrico y un sistema de gestión de energía de la red de transmisión en tiempo real.

Diseño, modelado y operación inteligentes: Permite un conocimiento inteligente de la situación en todas las etapas del ciclo de vida de cualquier industria desde el concepto original pasando por la especificación, diseño, modelado, análisis, integración, puesta en marcha y soporte en servicio desde petróleo y gas hasta metales y minería.

2.1.3 Importancia del software ETAP 22.5 en la educación e investigación en ingeniería eléctrica

El software ETAP 22.5 es una herramienta crucial en la educación e investigación en ingeniería eléctrica en el modelado de flujos de potencia ya que permite la simulación de diferentes

escenarios generando los resultados correspondientes a la selección del modo de simulación mostrando los valores obtenidos de corriente, tensión, potencia entre otros parámetros relevantes, algunos modelados de ETAP son los siguientes:

Simulación de sistemas de potencia: ETAP permite a los estudiantes y a los investigadores simular y analizar sistemas de potencia complejos en un entorno virtual. Esto es fundamental para comprender el comportamiento de las redes eléctricas, desde la generación hasta la distribución de energía facilitando el aprendizaje y mayor comprensión, por ejemplo, los siguientes módulos.

Análisis de protecciones eléctricas: El software ETAP incluye herramientas avanzadas para el análisis de protecciones eléctricas, ayudando a los estudiantes a comprender cómo se diseñan y coordinan los dispositivos de protección en sistemas de potencia reales.

Estudios de estabilidad: ETAP cuenta con módulos de estudio de estabilidad estos son fundamentales para analizar la estabilidad de sistemas eléctricos ante contingencias, lo cual es crucial para garantizar la operación segura y confiable de las redes eléctricas.

Diseño y optimización de sistemas: El software ETAP también facilita el diseño y la optimización de sistemas eléctricos al permitir a los usuarios simular diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de la red en función de parámetros específicos.

Integración con herramientas de ingeniería: ETAP puede integrarse con otras herramientas de software de ingeniería, lo que facilita el intercambio de datos y la colaboración en proyectos multidisciplinarios. El software ETAP 22.5 es una herramienta versátil y poderosa que facilita el aprendizaje y la investigación a los estudiantes de ingeniería eléctrica al proporcionar las capacidades necesarias para el análisis, diseño y operación de sistemas de potencia de manera eficiente y precisa.

2.2 Software ETAP 22.5

2.2.1 Comparación de las versiones anteriores y la versión ETAP 22.5

La versión 22.5 de ETAP 2023 ofrece un nuevo modelado y simulación de gemelos digitales con un conjunto nuevo de módulos de análisis de potencia integrados, automatización basada en modelos y soluciones de operaciones inteligentes. Esta versión, se encuentran

características nuevas y mejoradas para la seguridad, y así aumentar su confiabilidad y eficiencia, garantizando el cumplimiento y facilitando el análisis de diferentes sistemas eléctricos.

Características	ETAP 19.0.1	ETAP 22.5
Fecha de Lanzamiento	2019	2023
Interfaz de Usuario	Clásica, menos intuitiva en comparación con versiones más recientes.	Mejorada con una interfaz de usuario más intuitiva y moderna.
Rendimiento	Rendimiento estable, pero con algunas limitaciones en simulaciones complejas.	Mejoras significativas en el rendimiento, especialmente en simulaciones y cálculos complejos.
Soporte para Sistemas de Energía Renovable	Soporte básico para energías renovables.	Expansión de soporte para integración y análisis de energías renovables, incluyendo micro redes y almacenamiento de energía.
Análisis de Protección	Capacidades estándar para análisis de coordinación de protecciones.	Funcionalidades avanzadas de análisis de protecciones, incluyendo simulaciones en tiempo real.
Simulación en Tiempo Real	Funcionalidad básica, no totalmente optimizada.	Soporte mejorado para simulaciones en tiempo real, con mayor precisión y velocidad.
Módulo de Transitorios Electromagnéticos (EMT)	Básico, limitado a ciertas aplicaciones.	Totalmente integrado, con mayor capacidad para simular transitorios electromagnéticos complejos.
Análisis de Fallas	Herramientas estándar para análisis de fallas.	Herramientas avanzadas para análisis detallado de fallas, incluyendo nuevas metodologías.
Actualizaciones de Normas	Basado en normas anteriores, algunas desactualizadas.	Integración de las normas más recientes y actualizaciones regulares.
Compatibilidad y Soporte	Soporte para sistemas operativos y hardware más antiguos.	Compatibilidad con las últimas versiones de sistemas operativos y soporte para hardware moderno.
Mantenimiento y Seguridad	Seguridad básica, con parches regulares.	Mejoras en la seguridad cibernética y mantenimiento proactivo, incluyendo protección contra amenazas recientes.

Tabla 1. Comparación de ETAP 22.5 y la versión ETAP 19.0.

2.3 Análisis de flujo de potencia y estabilidad con ETAP

2.3.1 Aplicación de ETAP en el análisis de flujo de potencia

El análisis de flujo de potencia en ETAP es una herramienta fundamental para evaluar y optimizar el funcionamiento de sistemas eléctricos. Cuenta con el módulo de flujo de carga, este consiste en ejecutar el análisis de flujo de potencia y cálculos caída de tensión con resultados precisos y confiables.

Entre las funcionalidades que brinda este módulo se tiene, evaluación automática de equipos, resumen de alertas y avisos de precaución, analizador resultados de flujo de carga y gráficas inteligentes, por lo cual lo definen como la herramienta más eficiente en la actualidad.

Así mismo, este módulo puede crear y validar modelos del Sistema y obtener resultados precisos y confiables. Puede calcular tensiones en buses, factor de potencia en los circuitos, corrientes y flujos de potencia a través del sistema eléctrico. También permite uso de fuentes en modo swing, tensión regulada y no regulada, con múltiples conexiones a redes y generador.

Características importantes del módulo flujo de carga:

- Estudio de caída de tensión y análisis flujo de potencia.
- Pérdidas de potencia real y reactiva.
- Ejecución automática de flujo de carga en base a cambios en el sistema.
- Barra de herramientas para cambiar y desplegar unidades de resultados con un clic.
- Simulación Flujo de Potencia con condiciones múltiples de carga y generación.
- Cálculos y reportes de flujo carga.

El analizador de resultados del módulo de flujo de carga de ETAP es una herramienta clave que te permite:

Consolidar y comparar: Analizar múltiples informes de estudios de flujo de potencia en una sola tabla unificada.

Flexibilidad en el análisis: Comparar tanto información general del proyecto como datos específicos de cálculos de flujo de carga para buses, ramales, cargas o fuentes.

Software de cálculo y generación de informes de flujo de carga: El software de análisis de flujo de carga genera informes de estudios de flujo de potencia que incluyen datos de entrada, análisis detallado del flujo de carga y resúmenes también muestra los siguientes detalles (etap, 2024).

- Visualización gráfica de resultados de última generación.
- Estudio de caídas de tensión, pérdidas eléctricas, cálculos de flujo de potencia, factor de potencia, etc.
- Datos de entrada, flujos de carga detallados y resúmenes.
- Vista de alerta de filtrado según clasificación de área, zona y/o región.

2.3.2 Implementación del método de Gauss-Seidel y Newton-Raphson en ETAP

El método de Gauss-Seidel es un método iterativo utilizado para resolver sistemas de ecuaciones lineales. El método se llama así en honor a los matemáticos alemanes Carl Friedrich Gauss y Philipp Ludwing Von Seidel. Una primera alternativa considerada para resolver el problema de flujos de potencia en un modelo representativo de un sistema eléctrico fue el empleo del método de Gauss Seidel para calcular el voltaje (en módulo y ángulo) de una barra en función de los voltajes en todas las barras. Los problemas de flujo de potencia siguen un proceso iterativo al asignar valores estimados a los voltajes de barra desconocidos y calcular nuevos valores para cada voltaje de barra, a partir de los estimados en las otras barras y de la potencia real y reactiva especificadas. El método de Gauss-Seidel encuentra una solución al conjunto de ecuaciones, resolviendo repetidamente este conjunto de ecuaciones hasta que la solución se encuentre dentro de un límite de error aceptable. La convergencia del método Gauss-Seidel es lenta y es directamente proporcional al factor de aceleración.

2.3.3 Obtención de ecuaciones lineales

Las ecuaciones lineales que se resuelven mediante métodos iterativos como Gauss-Seidel y Newton-Raphson suelen derivarse del modelado matemático de sistemas físicos, como redes

eléctricas, estructuras mecánicas o problemas de transferencia de calor. En el contexto de sistemas de potencia, por ejemplo, estas ecuaciones provienen del análisis de flujo de carga, donde se busca determinar las tensiones nodales a partir de las potencias activas y reactivas especificadas en cada nodo. El sistema general tiene la forma:

$$\mathbf{Ax}=\mathbf{b} \quad (1)$$

Donde:

- $\mathbf{A}$ es la matriz de coeficientes (por ejemplo, la matriz de admitancias nodales en sistemas eléctricos).
- $\mathbf{x}$ es el vector de incógnitas (tensiones nodales).
- $\mathbf{b}$ es el vector de términos independientes (potencias especificadas).

2.3.4 Análisis de ecuaciones lineales de Gauss-Seidel y Newton Raphson

Las ecuaciones lineales que se resuelven mediante métodos iterativos como Gauss-Seidel o Newton-Raphson se obtienen a partir del análisis de circuitos o sistemas físicos utilizando diversas leyes fundamentales, entre las que destacan:

Ley de Kirchhoff de Corrientes (LKC): Permite plantear ecuaciones que describen el equilibrio de corrientes en cada nodo de un circuito eléctrico.

Ley de Kirchhoff de Voltajes (LKV): Permite formular ecuaciones relacionadas con la suma de voltajes en lazos cerrados de un circuito.

Ley de Ohm: Relaciona la corriente, el voltaje y la impedancia (o resistencia) en un circuito, permitiendo expresar las relaciones entre variables eléctricas de manera lineal.

El análisis de flujo de carga utiliza principalmente la Ley de Kirchhoff de corrientes y la Ley de Ohm para cada nodo, resulta inicialmente en un sistema de ecuaciones no lineales. Mediante procesos de linealización o aproximaciones sucesivas, estas ecuaciones pueden representarse como un sistema lineal que es adecuado para métodos iterativos.

2.3.5 Tratamiento matemático para obtener el conjunto de ecuaciones

Para obtener el conjunto de ecuaciones lineales en ingeniería se sigue una serie de pasos estructurados que permiten modelar y resolver problemas complejos de manera eficiente:

- **Modelización matemática:** Se inicia del fenómeno físico o del sistema a estudiar, en este caso el análisis de flujo de carga en el sistema de potencia y se traduce a un modelo matemático utilizando leyes fundamentales (como las leyes de Kirchhoff, la ley de Ohm, conservación de masa o energía). Este modelo suele expresarse inicialmente en forma de ecuaciones, que pueden ser lineales o no lineales.
- **Formulación del sistema de ecuaciones:** Se organiza el modelo en un sistema de ecuaciones, colocando todas las incógnitas en un lado y los términos independientes en el otro, generalmente en la forma estándar.
- **Representación matricial:** Para sistemas con muchas incógnitas, se utiliza el álgebra lineal para expresar el conjunto de ecuaciones en forma matricial.
- **Selección del método de resolución:** Dependiendo del tamaño y las características del sistema, se elige el método numérico más adecuado, métodos directos (como eliminación de Gauss, método de Cramer) para sistemas pequeños, o métodos iterativos (como Gauss-Seidel o Newton-Raphson) para sistemas grandes o dispersos.
- **Aplicación del método:** Se aplica el método seleccionado para encontrar los valores de las incógnitas que satisfacen simultáneamente todas las ecuaciones del sistema. En métodos iterativos, esto implica partir de una estimación inicial y refinarla sucesivamente hasta alcanzar la precisión deseada.

2.3.6 Proceso matemático para las ecuaciones de Gauss-Seidel y Newton Raphson

Gauss-Seidel

En sistemas de potencia, el análisis de flujo de carga busca determinar las tensiones (magnitud y ángulo) en cada barra (nodo) del sistema, así como las potencias activas y reactivas en cada línea, a partir de las potencias especificadas en las barras de carga y generación.

El punto de partida es la ecuación de potencia compleja inyectada en la barra i :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2)$$

Donde:

V_i es la tensión en la barra i y I_i^* es el conjugado complejo de la corriente inyectada.

Expresión de la corriente inyectada

La corriente en la barra i se expresa usando la matriz de admitancias nodales (Y_{ij}):

$$I_i = \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \quad (3)$$

Por lo tanto:

$$S_i = V_i \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \right)^* \quad (4)$$

$$S_i^* = V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \quad (5)$$

Despejando V_i :

$$S_i^* = V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \quad (6)$$

$$S_i^* = V_i^* Y_{ii} V_i + V_i^* \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j \quad (7)$$

$$S_i^* - V_i^* \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j = V_i^* Y_{ii} V_i \quad (8)$$

$$S_i^* - V_i^* \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j = Y_{ii} |V_i|^2 \quad (9)$$

$$\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j = Y_{ii} V_i \quad (10)$$

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left(\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j \right) \quad (11)$$

Fórmulas para la implementación del método de Gauss Seidel:

La ecuación general para el voltaje calculado en cualquier barra i de un sistema de las barras, donde se programan P y Q , es:

$$V_i^{(k)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_{i,prog} - jQ_{i,prog}}{V_i^{(k-1)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} - \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j^{(k-1)} \right] \quad (12)$$

El superíndice (k) indica el número de la iteración en la que se está calculando el voltaje y $(k-1)$ indica el número de la iteración que le precede. Así, se observa que los valores para los voltajes en el lado derecho de esta ecuación son los valores calculados más recientemente para las barras correspondientes (o el voltaje estimado si k es 1 y no se ha hecho ninguna iteración en esa barra en particular). Como la ecuación (12) solamente se aplica a las barras de carga donde se especifican las potencias real y reactiva, sería necesario una etapa adicional en el caso de las barras de voltaje controlado donde la magnitud del voltaje se mantiene constante. (Stevenson, 2024).

Barras de voltaje controlado.

En estas barras es conocida la potencia activa total inyectada a la barra y el módulo de la tensión, pero se desconoce la potencia reactiva total inyectada.

Donde se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_i = -Im \left\{ V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \right\} \quad (13)$$

El voltaje revisado de Q_i se obtienen de la ecuación anterior al sustituir los valores de voltaje en el miembro derecho de la ecuación por los valores más actualizados, de hecho, para la iteración $(r+1)$ -ésima se puede escribir de la ecuación anterior.

$$Q_i^{(r+1)} = -Im \left\{ (V_i^{(r)}) * \sum_{k=1}^{i-1} Y_{ik} V_k^{(r+1)} + (V_i^{(r)}) * \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k^{(r)} \right\} \quad (14)$$

Donde Im , quiere decir “parte imaginaria de “y los superíndices indican la iteración apropiada.

Barra Slack de compensación:

En esta barra se especifica en modulo y ángulo de la tensión por lo que no ameritan calculo alguno.

$$I_K = \frac{p_k - jQ_k}{V_k^*} \quad (15)$$

2.3.7 Ejemplo método de Gauss-Seidel

Los generadores están conectados en las barras 1 y 4, mientras las cargas se indican en todas las cuatro barras. Los valores base para el sistema de transmisión son 100 MVA y 230 kV. Los datos de líneas de la tabla 9.2 dan las impedancias serie en por unidad y las susceptancias de carga de la línea para los circuitos equivalentes nominales i de las cuatro líneas identificadas por las barras en las que terminan. Los datos de barras en la tabla 2 enlistan los valores para P, Q y V en cada barra. Los valores de la Q de la carga se calculan a partir de los valores P correspondientes bajo el supuesto de un factor de potencia de 0.85. Los valores programados totales, $P_{i, \text{prog}}$ Y $Q_{i, \text{prog}}$, son negativos en las barras de carga 2 y 3. No se especifica la Q_{gi} generada donde la magnitud

del voltaje es constante. En la columna de voltajes, los valores para las barras de carga son estimaciones de inicio plano. La magnitud de voltaje $|V_1|$ y el ángulo δ_1 , de la barra de compensación, así como la magnitud $|V_4|$ en la barra 4.

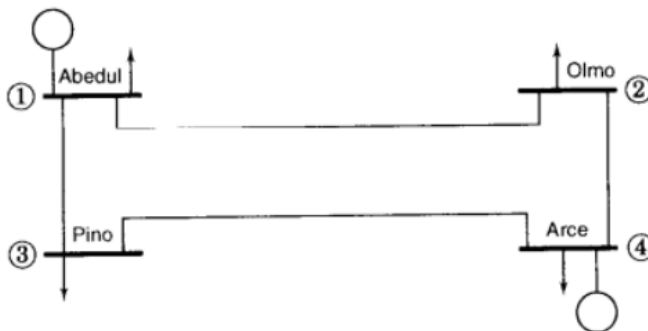


Figura 1. Diagrama unifilar para ejemplo del libro *Análisis de Sistemas de Potencia* John Grainger, Stevenson.

Datos de líneas para el ejemplo:

Línea de barra a barra	Serie Z		Serie $Y=Z^{-1}$		Y en paralelo	
	R por unidad	X por unidad	G por unidad	B por unidad	Mvar totales de carga++	Y/2 por unidad
1-2	0.01008	0.05040	3.815629	-19.078144	10.25	0.05125
1-3	0.00744	0.03720	5.169561	-25.847809	7.75	0.03875
2-4	0.00744	0.03720	5.169561	-25.847809	7.75	0.03875
3-4	0.01272	0.06360	3.023705	-15.118528	12.75	0.06375

Base 100MVA, 230kV

++A 230kV

Tabla 2. Datos de líneas de transmisión.

Datos de barras

Barra	Generación		Carga		V, por unidad	Observaciones
	P, MW	Q, Mvar	P, MW	Q, Mvar+		
1	-	-	50	30.99	1.00 0°	Barra de compensación
2	0	0	170	105.35	1.00 0°	Barra de carga (inductiva)
3	0	0	200	123.94	1.00 0°	Barra de carga (inductiva)
4	318	-	80	49.58	1.02 0°	Voltaje controlado

Tabla 3. Datos de barras.

Se hace un estudio de flujos de potencia por el método de Gauss-Seidel. Encuentre el valor de V_2 para la primera iteración suponiendo que los cálculos iterativos comienzan en la barra 2.

Solución:

Los cálculos que se hacen a continuación consideran hasta seis cifras decimales con objeto de aproximarse a la exactitud de una computadora digital. El sistema de Y barra se construye a partir de los datos de líneas dados en la tabla. Por ejemplo, los elementos fuera de la diagonal que no son cero, Y_{21} , y Y_{24} , están asociados con la barra 2 y son iguales a los negativos de sus respectivas admitancias de línea.

$$Y_{21} = - (3.815629 - j19.078144); \quad Y_{24} = - (5.169561 - j25.847809)$$

Como Y_{22} es la suma de todas las admitancias que se conectan a la barra 2, incluso las susceptancias en paralelo para la carga de las líneas 2-1 y 2-4 se tiene:

$$Y_{22} = - (-Y_{21}) + j0.05125 + (-Y_{24}) + j0.03875 - 8.985190 - j44.835953$$

Matriz de admitancias de barra:

No. De barra	Generación		Carga	
	1	2	3	4
1	8.985190-j44.835953	-3.815629+j19.078144	-5.169561+j25.847809	-5.169561+j25.847809
2	-3.815629+j19.078144	8.985190-j44.835953	0	-3.023705+j15.118528
3	-5.169561+j25.847809	0	8.193267-j40.863838	123.94
4	0	-5.169561+j25.847809	-3.023705+j15.118528	8.193267-j40.863838

Tabla 4. Tabla de matriz de admitancias.

$$\begin{aligned}
 V_2 (1) &= \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{-1.7 + j1.0535}{1.0 + j0.0} - 1.00(-3.815629 + j19.078144) - 1.02(-5.169561 \right. \\
 &\quad \left. + j25.847809) \right] \\
 &= \frac{1}{Y_{22}} [-1.7 + j1.0535 + 9.088581 - j45.442909] \\
 &= \frac{1}{Y_{22}} [7.388581 - j44.389409] \\
 &\quad [8.985190 - j44.835953]
 \end{aligned}$$

$$V_2 = 0.983564 - j0.032316$$

Método de Newton Raphson.

El método de Newton-Raphson es una técnica numérica iterativa ampliamente utilizada en el análisis de sistemas de potencia para resolver el problema de flujo de potencia. Este problema consiste en determinar las tensiones y ángulos de fase en cada nodo de un sistema eléctrico, dadas las potencias generadas y consumidas.

En comparación con otros métodos iterativos, como Gauss-Seidel, Newton-Raphson se caracteriza por su rápida convergencia, especialmente en sistemas de gran tamaño.

El proceso matemático para llegar a la ecuación de Newton-Raphson aplicada al análisis de flujo de potencia en sistemas eléctricos se basa en resolver un sistema de ecuaciones no lineales que describen el equilibrio de potencias activas y reactivas en cada nodo del sistema.

Para cada barra del sistema, las potencias activa y reactiva se expresan como funciones no lineales de las magnitudes y ángulos de voltaje:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (16)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (17)$$

Donde:

- $V_i V_j$ son las magnitudes de voltaje en las barras i y j .
- θ_{ij} es la diferencia de ángulos de voltaje.
- $G_{ij} - B_{ij}$ son las partes real e imaginaria de la admitancia de la línea entre barras i y j.
- N es el número total de barras.

Partiendo de una estimación inicial ($\mathbf{x}^{(k)}$), se linealizan las ecuaciones mediante la expansión en serie de Taylor y se desprecia el término de orden superior:

$$\mathbf{J}^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta g_1^{(0)} \\ \Delta g_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Donde:

- $\mathbf{J}^{(0)}$: Matriz Jacobiana evaluada en la iteración 0. Contiene las derivadas parciales de las funciones respecto a las incógnitas, y describe cómo cambian los residuos ante pequeños cambios en las variables.
- $\Delta x_1^{(0)}, \Delta x_2^{(0)}$: Correcciones aplicadas a las incógnitas x_1 y x_2 durante la iteración 0. Representan los incrementos o ajustes calculados en la primera iteración para acercar la solución al valor real.
- $\Delta g_1^{(0)}, \Delta g_2^{(0)}$: Valores de error de las funciones no lineales asociadas a cada ecuación del sistema evaluadas en la iteración 0. Indican cuánto se aleja la solución actual de satisfacer completamente el sistema de ecuaciones.

Estructura de la matriz Jacobiana

La matriz Jacobiana se divide en cuatro submatrices que relacionan las variaciones de ángulos y magnitudes de voltaje con las potencias activa y reactiva:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Algoritmo iterativo

1. Inicializar las variables de estado $\mathbf{x}^0$ (ángulos y magnitudes de voltaje).
2. Calcular el vector de funciones $\mathbf{g}(\mathbf{x}^{(k)})$ evaluando las potencias activa y reactiva residuales.
3. Construir la matriz Jacobiana $J(\mathbf{x}^{(k)})$.
4. Resolver el sistema lineal:

$$(J^{(k)})\Delta\mathbf{x}^{(k)} = \Delta g^{(k)} \quad (20)$$

Para obtener $\Delta\mathbf{x}^{(k)}$.

5. Actualizar la solución:

$$\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{x}^{(k)} + \Delta\mathbf{x}^{(k)} \quad (21)$$

6. Verificar la convergencia.
7. Repetir hasta convergencia.

Implementación del método de Newton Raphson en ETAP.

ETAP brinda herramientas donde se puede seleccionar un método de solución de flujo de carga. Cuenta con tres métodos disponibles: Newton-Raphson, Newton-Raphson adaptativo y desacoplado rápido.

Para los métodos Newton-Raphson y Newton Raphson adaptativo, primero se realizan algunas iteraciones de Gauss-Seidel para establecer un conjunto de valores iniciales sólidos para los voltajes del bus (ya que la convergencia del método Newton-Raphson depende en gran medida de los voltajes iniciales del bus). Al escoger el método de solución muestra una ventana donde aparecerá Máx. Iteración, se introduce el número máximo de iteraciones en este campo. Si la solución no ha convergido antes del número especificado de iteraciones, el programa se detendrá y le informará. El valor recomendado y predeterminado es 99 para los métodos Newton-Raphson y desacoplado rápido.

En el apartado de precisión se introduce el valor de la precisión de la solución, que se utiliza para comprobar la convergencia. Este valor determina qué tan precisa desea que sea la solución final. Para los métodos de Newton-Raphson y de desacoplamiento rápido, la precisión se compara con la diferencia de potencia para cada bus (MW y Mvar) entre iteraciones. Si la diferencia entre las iteraciones es menor o igual al valor ingresado para la precisión, se logra la precisión deseada.

Ventajas de Newton-Raphson en ETAP:

- Convergencia rápida: Reduce el tiempo de cálculo, especialmente en sistemas complejos.
- Precisión: Proporciona resultados precisos, incluso en sistemas con alta carga.
- Robustez: Es menos sensible a las condiciones iniciales que otros métodos.

El método de Newton-Raphson es una herramienta poderosa y eficiente para el análisis de flujo de potencia en ETAP. Su rápida convergencia y precisión lo convierten en una opción preferida para sistemas de gran tamaño y alta complejidad.

2.3.8 Ejemplo método de Newton-Raphson

Dado el ejemplo 9.4 del libro de Análisis de Sistemas de Potencia de Stevenson: Encuentre x_1 y x_2 a partir de las siguientes ecuaciones no lineales por medio del método de Newton-Raphson.

$$g_1(x_1, x_2, u) = h_1(x_1, x_2, u) - b_1 = 4ux_2 \sin x_1 + 0.6 = 0$$

$$g_2(x_1, x_2, u) = h_2(x_1, x_2, u) - b_2 = 4ux_2^2 - 4ux_2 \cos x_1 + 0.3 = 0$$

Considere el parámetro u como un número fijo igual a 1.0 y seleccione las condiciones iniciales $x_1^{(0)} = 0$ rad y $x_2^{(0)} = 1.0$. El índice de precisión de ϵ es 10^{-5} .

Solución. La derivada parcial con respecto a las x conduce a:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \frac{\partial g_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial g_2}{\partial x_1} & \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4ux_2 \cos x_1 & 4u \sin x_1 \\ 4ux_2 \sin x_1 & 8x_2 - 4u \cos x_1 \end{bmatrix}$$

El parámetro u tiene un valor fijo igual a 1.0, pero en algunos estudios podría tratarse como una variable especificable o de control.

Primera iteración con $u = 1$ y mediante los estimados iniciales de x_1 y x_2 , se calculan los errores:

$$\Delta g_1^{(0)} = 0 - g_{1, \text{calc}} = b_1 - h_1^{(0)} = -0.6 - 4 \sin(0) = -0.6$$

$$\Delta g_2^{(0)} = 0 - g_{2, \text{calc}} = b_2 - h_2^{(0)} = -0.3 - 4 \times (1.0)^2 + 4 \cos(0) = -0.3$$

$$\begin{bmatrix} 4 \cos(0) & 4 \sin(0) \\ 4 \sin(0) & 8x_2 - 4 \cos(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6 \\ -0.3 \end{bmatrix}$$

Al invertir esta matriz simple de 2x2, se determinan las correcciones iniciales

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0.6 \\ -0.3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.150 \\ -0.075 \end{bmatrix}$$

Se obtienen los primeros valores de la iteración para x_1 y x_2 en la forma:

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} = 0.0 + (-0.150) = -0.150 \text{ rad}$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} = 1.0 + (-0.075) = -0.925$$

Las correcciones exceden la tolerancia especificada, así que se continua el proceso.

Segunda iteración. Los nuevos errores son:

$$\begin{bmatrix} \Delta g_1^{1^1} \\ \Delta g_2^{1^1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6 - 4(0.925)\sin(-0.15) \\ -0.3 - 4(0.925)^2 + 4(0.925)\cos(-0.15) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0.047079 \\ -0.064047 \end{bmatrix}$$

y al actualizar la jacobiana, se calculan las nuevas correcciones

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1^{1^1} \\ \Delta x_2^{1^1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.658453 & -0.597753 \\ -0.552921 & 3.444916 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0.047079 \\ -0.064047 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.016335 \\ -0.021214 \end{bmatrix}$$

Estas correcciones también exceden el índice de precisión, así que se continúa iterando con los nuevos valores corregidos:

$$x_1^{(2)} = -0.150 + (-0.016335) = -0.166335 \text{ rad}$$

$$x_2^{(2)} = 0.925 + (-0.021214) = -0.903786$$

Al continuar con la tercera iteración, se encuentra que las correcciones $\Delta x_1^{(3)}$ y $\Delta x_2^{(3)}$ son (cada una) más pequeñas en magnitud que la tolerancia estipulada de 10^{-5} . Así, se calcula la solución:

$$x_1^{(4)} = -0.166876 \text{ rad}; \quad x_2^{(4)} = -0.903057$$

Los errores resultantes son insignificantes, como se puede verificar fácilmente.

2.3.9 Estudios de estabilidad transitoria y oscilación

El software ETAP brinda el módulo de análisis de estabilidad transitoria, el cual está diseñado para investigar las respuestas dinámicas del sistema y los límites de estabilidad de un sistema de energía antes, durante y después de cambios o perturbaciones en el sistema. El programa modela las características dinámicas de un sistema de energía, implementa eventos y acciones definidos por el usuario, resuelve la ecuación de la red del sistema y las ecuaciones diferenciales de la máquina de forma interactiva para descubrir las respuestas del sistema y de la máquina en el dominio del tiempo. (etap, 2024).

El módulo de estabilidad transitoria cuenta con las siguientes secciones.

La sección de la barra de herramientas de estabilidad transitoria explica cómo puede iniciar un cálculo de estabilidad transitoria, abrir y ver un informe de salida, seleccionar opciones de visualización, ver gráficos, ver acciones que se toman en el estudio y realizar la secuencia de reproducción de operaciones.

La sección editor de casos de estudio explica cómo crear un nuevo caso de estudio, definir parámetros para un caso de estudio, crear una secuencia de eventos de conmutación y perturbaciones, definir globalmente el método de modelado dinámico de la máquina, seleccionar dispositivos de trazado/tabulación y para establecer ajustes de tolerancia del dispositivo, etc.

La sección opciones de visualización explica qué opciones están disponibles para mostrar algunos parámetros clave del sistema y los resultados de salida en el diagrama unifilar, y cómo configurarlos.

La sección métodos de cálculo proporciona algunos fundamentos teóricos y una referencia rápida para los fundamentos del estudio de estabilidad transitoria, que son muy útiles para los usuarios que no tienen amplia experiencia en la ejecución de estudios de estabilidad transitoria.

La sección informes de salida explica y demuestra el formato y la organización de los informes de texto de estabilidad transitoria.

La sección resultados mostrados del diagrama unifilar explica los resultados de visualización unifilares disponibles y proporciona un ejemplo.

La sección gráficos explica qué gráficos para estabilidad transitoria están disponibles y cómo seleccionarlos y verlos.

La sección lista de acciones explica cómo ver las acciones que se implementan en el estudio y cómo observar la secuencia de operación del sistema moviendo el control deslizante de tiempo.

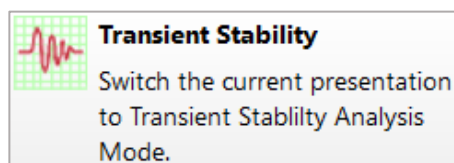


Figura 2. Estabilidad transitoria.

2.4 Análisis de fallas y protecciones en ETAP

2.4.1 Modelado y simulación de fallas simétricas y asimétricas

El modelado y simulación de fallas simétricas y asimétricas es fundamental para comprender el comportamiento de los sistemas de energía eléctrica frente a diferentes tipos de fallas. Las fallas simétricas implican un desequilibrio en las fases del sistema, mientras que las fallas asimétricas son aquellas en las que se produce un cortocircuito entre fases o tierra. Mediante el modelado y simulación de estas fallas, es posible evaluar la respuesta del sistema ante situaciones de emergencia, determinar las corrientes de cortocircuito resultantes, identificar posibles puntos débiles en la red eléctrica y elaborar estrategias de protección y coordinación de dispositivos de seguridad.

ETAP ofrece el programa de análisis de cortocircuitos que es una herramienta que permite analizar diferentes tipos de fallas en sistemas eléctricos, como fallas trifásicas, monofásicas y tierra. Calcula las corrientes de cortocircuito totales, así como las contribuciones de motores, generadores y conexiones de servicios públicos en el sistema, cumpliendo con normas internacionales como ANSI/IEEE e IEC. El módulo ofrece diversas secciones, como barra de herramientas para iniciar cálculos, el editor de casos de estudio para crear nuevos escenarios de falla, y opciones de visualización para mostrar parámetros clave del sistema en el diagrama unifilar, también incluye métodos de cálculo según normas ANSI/IEEE e IEC, datos requeridos para realizar los cálculos y la sección informe de resultados que explica detalladamente los informes generados.

Además, el módulo cuenta con un analizador de resultados de cortocircuito que facilita el filtrado y análisis de múltiples informes de salida, brindando una visión clara y detallada de los estudios de cortocircuito realizados para analizar el impacto en la operación del sistema y diseñar medidas de mitigación para garantizar la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

2.4.2 Integración de equipos de protección en ETAP

La integración de equipos de protección y el análisis de su funcionamiento en sistemas eléctricos son procesos complejos que buscan garantizar que cada dispositivo opere de manera segura, eficiente y coordinada. A continuación, se describe en profundidad cómo ETAP aborda estos procesos, sus herramientas y beneficios.

2.4.3 Modelado de equipos de protección

ETAP permite representar con precisión los dispositivos de protección de un sistema eléctrico. Este modelado incluye:

Base de datos de equipos de protección

ETAP cuenta con una amplia biblioteca predefinida que incluye relés digitales, relés electromecánicos, fusibles, interruptores automáticos y otros dispositivos de protección.

Cada equipo tiene asociadas sus curvas características (Tiempo-Corriente o TCC) proporcionadas por los fabricantes, como ABB, Siemens, SEL, entre otros.

La biblioteca puede ser personalizada añadiendo modelos específicos, parámetros ajustados y datos de prueba de fábrica.

Definición de parámetros

Datos básicos: Se ingresan características como corriente nominal, capacidad de interrupción y configuración de ajustes.

Curvas TCC: Las curvas de tiempo-corriente definen cómo responde un dispositivo ante distintas magnitudes de corriente, ajustándose para garantizar la operación selectiva.

Conexión de equipos

ETAP modela cómo los dispositivos interactúan dentro del sistema eléctrico:

Los equipos se integran en líneas, transformadores, generadores y cargas.

Se establecen zonas de protección (lógicas de selectividad) para identificar áreas específicas del sistema bajo su protección.

2.4.4 Análisis de coordinación y selectividad

El análisis de coordinación y selectividad en ETAP garantiza que los equipos actúen en el orden correcto durante fallas. El objetivo es limitar la interrupción al área afectada sin comprometer otras zonas del sistema.

Curvas de Tiempo-Corriente (TCC)

Estas curvas son esenciales para visualizar y evaluar el tiempo de actuación de cada dispositivo según la corriente que pasa a través de él. ETAP permite superponer curvas TCC de múltiples dispositivos, mostrando cómo interactúan y si existe un solapamiento (lo que podría generar disparos no deseados).

Evaluación de la selectividad

Ajustes óptimos: Calcula ajustes de tiempo e intensidad para evitar interferencias entre dispositivos vecinos.

Áreas de protección: Determina la zona afectada por cada equipo y evalúa cómo respondería ante diversas fallas.

El módulo ETAP STAR evalúa automáticamente:

La selectividad de los dispositivos con base en reglas configuradas por el usuario.

Los ajustes recomendados para optimizar la coordinación.

Potenciales fallas en la operación, como tiempos de disparo demasiado largos o ajustes mal configurados.

2.4.5 Simulación del funcionamiento de equipos de protección

Cálculo de cortocircuitos

ETAP simula fallas en puntos específicos del sistema y calcula las corrientes de cortocircuito. Estas simulaciones incluyen fallas simétricas (tres fases) y asimétricas (fase-tierra, fase-fase).

Se evalúa cómo cada equipo responde a la falla según sus ajustes actuales.

Análisis en tiempo real

ETAP RTS (Real-Time Simulation) permite evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones dinámicas, incluyendo: Incremento de cargas, variaciones de generación, operación ante contingencias.

Integración con análisis de arco eléctrico

Utilizando el módulo de ETAP Arc Flash, se evalúan las corrientes de falla y el tiempo de operación de los dispositivos de protección para mitigar riesgos de arco eléctrico.

Pruebas y ajustes

ETAP facilita la configuración y prueba de equipos en laboratorio o en campo:

Pruebas de ajustes de relés: Configura los ajustes recomendados y permite exportarlos para cargar directamente en los relés mediante protocolos de comunicación como IEC 61850.

Reportes de simulación: Se generan informes detallados sobre el desempeño y las condiciones del sistema.

Resultados y documentación

ETAP genera reportes que son clave para la toma de decisiones:

Curvas TCC personalizadas: Gráficos detallados de cada dispositivo y su interacción.

Resultados del análisis: Incluyen sugerencias de ajustes, puntos de conflicto, y evaluación de tiempos de operación.

Estado del sistema: Indicadores de zonas críticas, dispositivos mal configurados o ajustes no óptimos.

2.5 Protección contra fallas: Interruptores, relevadores y reclosers, utilizando ETAP.

2.5.1 Protección contra fallas en sistemas eléctricos

La protección contra fallas es un aspecto esencial en la operación y mantenimiento de sistemas eléctricos. Los dispositivos de protección, como interruptores, relevadores y reclosers, son fundamentales para garantizar la seguridad de los equipos, la continuidad del suministro eléctrico y la protección de las personas que interactúan con el sistema. Este informe aborda el papel de estos dispositivos en la protección contra fallas y su modelado en el software ETAP.

2.5.2 Dispositivos de protección

Interruptores (circuit breakers)

Los interruptores son dispositivos electromecánicos diseñados para interrumpir corrientes de falla. Su operación rápida y precisa permite aislar fallas y prevenir daños mayores.

Tipos de interruptores:

- Interruptores de aire: Usados en sistemas de baja tensión.
- Interruptores de vacío: Comunes en media tensión por su alta capacidad de interrupción.
- Interruptores de gas SF6: Utilizados en alta tensión por su eficiencia y fiabilidad.

Funcionamiento en condiciones normales y de falla:

En condiciones normales, el interruptor permite el flujo de corriente.

Durante una falla, el relevador asociado detecta la anomalía y envía una señal para que el interruptor se abra.

Relevadores (relés de protección)

Los relevadores monitorean las condiciones del sistema eléctrico y actúan ante irregularidades. Su función principal es identificar la naturaleza y localización de la falla y activar el dispositivo de protección adecuado.

Tipos de relevadores:

- Relevadores electromecánicos: Basados en principios mecánicos y magnéticos.
- Relevadores estáticos: Utilizan circuitos electrónicos.
- Relevadores digitales: Incorporan microprocesadores para un análisis avanzado y comunicación con sistemas SCADA.

Parámetros importantes:

- Tiempo de operación.
- Sensibilidad de disparo.
- Zona de protección.

Reclosers

Los reclosers son interruptores automáticos que intentan restablecer el suministro eléctrico después de interrupciones temporales, como descargas atmosféricas.

Características principales:

- Capacidad para realizar múltiples intentos de reconexión.
- Configuración ajustable para diferenciar fallas temporales de permanentes.
- Uso en redes de distribución para mejorar la confiabilidad.

Ciclo típico de operación:

- Apertura inicial → Primer intento de cierre → Si falla, repetición del ciclo según la configuración.

2.6 Flujo Óptimo de Potencia (OPF)

El Flujo Óptimo de Potencia (OPF) es una técnica matemática y computacional que optimiza la operación de un sistema eléctrico de potencia mientras satisface un conjunto de restricciones técnicas y operativas. Su objetivo principal es determinar la mejor manera de operar un sistema eléctrico minimizando un costo o maximizando una función de beneficio, como:

- Costo de generación.
- Pérdidas en la red.
- Emisiones ambientales.

El OPF considera no solo el despacho de potencia activa, sino también el comportamiento de las potencias reactivas, las tensiones, y los flujos de potencia en las líneas de transmisión.

El módulo de "Flujo Óptimo de Energía" resuelve el flujo de carga del sistema de potencia, optimiza las condiciones de funcionamiento del sistema y ajusta los parámetros de las variables de control, al tiempo que garantiza que no se violen las restricciones del sistema.

Un sistema optimizado reducirá los costos de instalación y/o operación, mejorará el rendimiento general del sistema y aumentará su confiabilidad y seguridad. El programa también

ofrece una variedad de otras opciones de objetivos de optimización, que cubre prácticamente todos los criterios de optimización para una potencia real del sistema.

Cualquier método de control práctico en un sistema eléctrico se considera en el cálculo. Las restricciones para el voltaje del bus, el flujo de alimentadores en diferentes tipos (MVA, MW, Mvar y Amp), así como los límites ajustable variables de control también están disponibles para que los usuarios puedan seleccionar y utilizar.

2.6.1 Restricciones

El OPF está sujeto a restricciones de igualdad (ecuaciones de balance de potencia). Las ecuaciones de flujo de potencia, que aseguran que la potencia generada sea igual a la demanda más las pérdidas en la red.

Restricciones de desigualdad:

- Límites de generación: Cada generador tiene un rango permitido de potencia activa y reactiva.
- Límites de tensión: Las tensiones deben mantenerse dentro de un rango permitido en cada barra.
- Límites térmicos: Las líneas de transmisión tienen una capacidad máxima para transportar potencia sin sobrecalentarse.

2.6.2 Función objetivo del OPF:

- Minimizar las pérdidas de potencia real y reactiva del sistema.
- Minimizar los costos de combustible de generación.
- Minimizar los costos de energía del sistema.
- Maximizar el rendimiento del sistema.
- Optimizar el intercambio de energía con otros sistemas (generación en sitio, acometidas, índice de precios del productor y redes eléctricas).

- Minimizar la segregación de carga.
- Minimizar el costo del combustible del generador o la tasa de calor con diferentes modelos de costos y perfiles de combustible.

2.6.3 Variables de control:

- Potencias activas de los generadores.
- Potencias reactivas de los generadores.
- Tap de transformadores y bancos de capacitores.

Solución matemática:

El OPF es un problema de optimización no lineal (Nonlinear Programming, NLP).

Métodos comunes para resolverlo:

- Método de Newton-Raphson.
- Programación Lineal (LP) o cuadrática (QP) para casos simplificados.
- Métodos heurísticos (como algoritmos genéticos o enjambre de partículas) para problemas complejos.

2.6.4 Despacho económico: Asigna generación óptima considerando restricciones de red.

Estabilidad del sistema: Garantiza que las tensiones y flujos de potencia estén dentro de límites seguros.

Planificación de expansión: Ayuda a decidir la ubicación de nuevas líneas o generadores.

Integración de renovables: Optimiza la operación de sistemas con alta penetración de energía solar y eólica.

Reducción de pérdidas: Minimiza las pérdidas en la red eléctrica.

Ventajas del OPF

- Asegura la operación económica y técnica del sistema eléctrico.

- Proporciona resultados detallados que integran limitaciones reales de la red.
- Facilita la toma de decisiones en sistemas complejos y modernos.

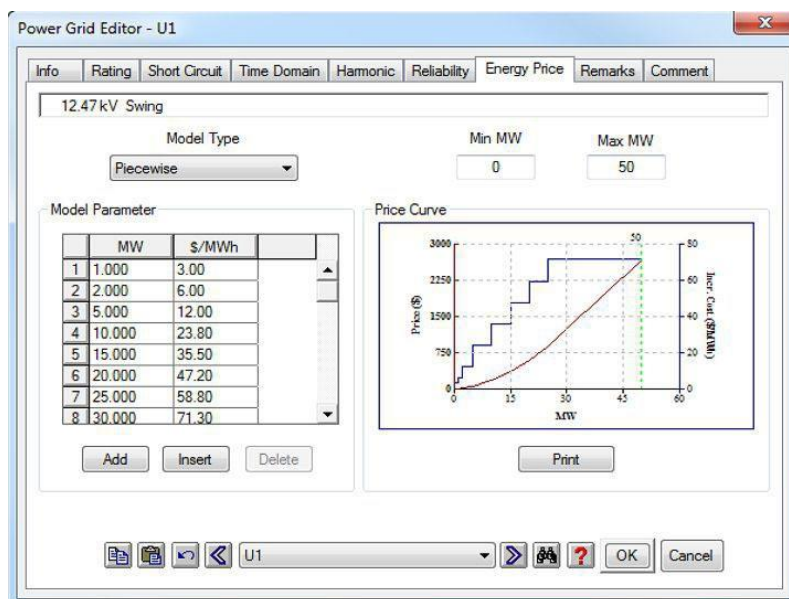


Figura 3. Power Grid Editor.

2.7 Análisis y diseño de líneas de transmisión con ETAP

El modelado de líneas de transmisión en ETAP es una de las funcionalidades clave del software, diseñada para permitir un análisis preciso del comportamiento de los sistemas eléctricos de potencia. Este proceso implica la representación matemática, gráfica y física de las líneas de transmisión dentro de un sistema de potencia. A continuación, se aborda en detalle cómo ETAP maneja el modelado de líneas de transmisión y sus aplicaciones.

2.7.1 Importancia del modelado de líneas de transmisión

Las líneas de transmisión son componentes fundamentales en los sistemas eléctricos, ya que permiten la transferencia eficiente de energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los puntos de consumo. El modelado preciso de estas líneas es crítico por varias razones:

- Cálculo de flujos de potencia: Garantiza un transporte eficiente de energía y evita sobrecargas.

- **Análisis de cortocircuito:** Ayuda a determinar cómo las fallas en las líneas afectan al sistema en su conjunto.
- **Estudios de estabilidad transitoria:** Evalúa la capacidad del sistema para recuperarse después de una perturbación.
- **Diseño óptimo de sistemas:** Permite determinar las especificaciones adecuadas para nuevas líneas o la actualización de las existentes.

2.7.2 Parámetros de las líneas de transmisión

El modelado de líneas de transmisión en ETAP incluye la definición de parámetros eléctricos y geométricos. Estos son esenciales para simular su comportamiento:

Parámetros eléctricos

- **Resistencia (R):** Representa las pérdidas debido al efecto Joule.
- **Inductancia (L):** Refleja la energía almacenada en el campo magnético de la línea.
- **Capacitancia (C):** Representa la energía almacenada en el campo eléctrico entre los conductores.
- **Conductancia (G):** Representa las pérdidas debido a fugas por aislamiento.

Parámetros geométricos

- **Configuración de los conductores:** Incluye la disposición física de los conductores (horizontal, triangular, etc.).
- **Altura de los conductores:** Afecta la capacitancia y la inductancia.
- **Espaciado entre conductores:** Influyen directamente en la impedancia característica.

2.7.3 Métodos de modelado en ETAP

ETAP proporciona múltiples métodos para modelar líneas de transmisión, dependiendo del nivel de detalle requerido:

Asignación automática del modelo:

ETAP determina automáticamente si utiliza el modelo PI o un modelo de parámetros distribuidos, dependiendo de la longitud de la línea y su frecuencia operativa:

- Líneas cortas/medias: Modelo PI.
- Líneas largas: Modelo de parámetros distribuidos.

Modelo Pi

Es una representación simplificada que divide la línea en dos impedancias en serie y una susceptancia capacitiva en paralelo en el centro.

Modelo T

Similar al modelo Pi, pero con la susceptancia capacitiva dividida entre los extremos de la línea. Estos modelos son útiles para líneas de transmisión cortas o estudios donde la precisión no es crítica.

Modelo distribuido

Este modelo considera la distribución continua de los parámetros eléctricos a lo largo de la línea, proporcionando mayor precisión. Es esencial para líneas de transmisión largas o de alta tensión.

Definición de propiedades:

- Selección de tipo de línea (aérea, subterránea o combinada).
- Introducción de parámetros eléctricos y geométricos.
- Configuración de datos de operación, como límites de corriente y tensión.

Selección de Modelo Matemático: Definir si se usará el modelo Pi, T o distribuido.

Validación: Verificar la configuración y realizar pruebas preliminares para asegurar la exactitud del modelo.

Simulación: Realizar estudios como flujo de potencia, cortocircuito y análisis armónico.

2.7.4 Cálculo de parámetros eléctricos: Resistencia, inductancia, capacitancia

El cálculo de parámetros eléctricos, tales como resistencia (R), inductancia (L) y capacitancia (C), es un aspecto esencial en la simulación y el análisis de sistemas eléctricos, y ETAP es una herramienta altamente eficiente para este propósito. Los parámetros de las líneas de transmisión, transformadores y otros componentes de un sistema eléctrico se calculan para evaluar el comportamiento eléctrico y optimizar el rendimiento del sistema. Este proceso es fundamental para el diseño, la protección y la estabilidad de las redes eléctricas.

Resistencia (R)

La resistencia eléctrica es una propiedad de los materiales que impide el flujo de corriente. En una línea de transmisión, la resistencia está asociada con las pérdidas de energía que ocurren debido a la conversión de energía eléctrica en calor cuando los electrones se mueven a través del conductor.

Cálculo de la resistencia

La resistencia de una línea de transmisión depende de varios factores:

- Longitud de la línea (l): Cuanto más larga es la línea, mayor es la resistencia.
- Área transversal del conductor (A): A mayor área, menor es la resistencia, ya que hay más espacio para el paso de la corriente.
- Resistividad del material (ρ): Cada material conductor tiene una resistividad característica (ρ), que afecta la resistencia total.

La fórmula para calcular la resistencia de una línea de transmisión es:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (22)$$

Donde:

- R es la resistencia de la línea.
- ρ es la resistividad del material.

- l es la longitud de la línea de transmisión.
- A es el área de sección transversal del conductor.

En ETAP, se pueden ingresar los parámetros de los conductores (material, diámetro, longitud) para obtener la resistencia de las líneas de transmisión. ETAP también permite el análisis de la resistencia en diferentes condiciones, como a diferentes temperaturas o en condiciones operativas específicas.

Importancia de la resistencia en ETAP

La resistencia afecta principalmente las pérdidas de potencia activa (P), que son las pérdidas que se producen por la conversión de energía eléctrica en calor. En ETAP, la resistencia se utiliza para calcular el flujo de potencia y las pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión.

Inductancia (L)

La inductancia es la propiedad de un conductor o circuito que resiste cambios en la corriente que lo atraviesa. En una línea de transmisión, la inductancia está asociada con el campo magnético creado alrededor del conductor cuando la corriente fluye a través de él.

Cálculo de la inductancia

El cálculo de la inductancia de una línea de transmisión depende de su geometría y de las propiedades del material. Los factores más relevantes incluyen:

- Distancia entre conductores (d): Cuanto mayor es la distancia entre conductores, menor es la inductancia.
- Radio de los conductores (r): Cuanto mayor es el radio del conductor, mayor es la inductancia.
- Permeabilidad del material (μ): Depende del material del conductor y de las condiciones del medio circundante (aire, tierra, etc.).

La fórmula general para calcular la inductancia de una línea de transmisión de dos conductores paralelos es:

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad (23)$$

Donde:

- L es la inductancia por unidad de longitud de la línea.
- μ es la permeabilidad del medio.
- d es la distancia entre los conductores.
- r es el radio de los conductores.

En ETAP, la inductancia es utilizada principalmente en el análisis de transitorios y en el cálculo de corrientes de cortocircuito. La inductancia de las líneas también afecta la comportabilidad de la línea durante fluctuaciones de voltaje y el tiempo de respuesta a perturbaciones transitorias.

Importancia de la inductancia en ETAP

- Efectos de la inductancia: La inductancia contribuye a las pérdidas de potencia reactiva (Q) en las líneas, ya que las líneas inductivas tienden a generar un desfase entre corriente y voltaje.
- Análisis de cortocircuitos y transitorios: La inductancia es crucial para calcular el comportamiento del sistema ante fallas, como las corrientes transitorias que se generan cuando hay un cortocircuito.

Capacitancia (C)

La capacitancia es la propiedad de un sistema que almacena energía en un campo eléctrico. En las líneas de transmisión, la capacitancia ocurre entre los conductores y entre los conductores y la tierra. La capacitancia es una medida de la capacidad de una línea para almacenar energía debido a la diferencia de potencial eléctrico entre los conductores.

Cálculo de la capacitancia

El cálculo de la capacitancia en una línea de transmisión depende de:

- Distancia entre conductores y entre los conductores y la tierra.
- Radio de los conductores.
- Características del medio dieléctrico entre los conductores (generalmente aire).

Para una línea de transmisión aérea de dos conductores, la fórmula de la capacitancia por unidad de longitud es:

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} \quad (24)$$

Donde:

- C es la capacitancia por unidad de longitud.
- ϵ es la permitividad del medio dieléctrico.
- d es la distancia entre conductores.
- r es el radio de los conductores.

Importancia de la capacitancia en ETAP

La capacitancia influye directamente en la pérdida de potencia reactiva (Q), especialmente a frecuencias altas. En sistemas de transmisión de energía, las líneas largas tienen una mayor capacitancia, lo que puede resultar en un desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente. ETAP utiliza estos valores de capacitancia en:

- Estudios de flujo de potencia: Para determinar el impacto de la potencia reactiva en el sistema.
- Simulaciones de transitorios: Para predecir cómo las líneas se comportan durante fluctuaciones de voltaje o en situaciones de corte de corriente.

Modelado de línea aérea

Para líneas de transmisión aéreas, ETAP permite el cálculo automático de estos parámetros a partir de los siguientes datos de entrada:

- Tipo de conductor (material, diámetro, resistencia).
- Distancia entre conductores.
- Altura de los conductores.
- Configuración de la línea (sistema monofásico, bifásico o trifásico).

2.7.5 Comportamiento eléctrico en líneas cortas, medias y largas

Modelo de circuito para línea de transmisión corta

El circuito equivalente para una línea de transmisión corta según el libro Análisis de sistemas de potencia de Stevenson, la cual se muestra en la figura 4, en donde I_S y I_R son las corrientes en los extremos generador y receptor, respectivamente, y V_S y V_R son los voltajes línea a neutro en esos mismos extremos.

El circuito se resuelve como uno de CA serie simple. Así:

$$I_S = I_R \quad (25)$$

$$V_S = V_R + I_R Z \quad (26)$$

Es decir, la impedancia serie total de la línea.

El efecto de variar el factor de potencia de la carga sobre la regulación del voltaje de la línea se entiende más fácilmente para las líneas cortas y, por lo tanto, se considerará en este momento. La regulación de voltaje de una línea de transmisión es la elevación en el voltaje en el extremo receptor, expresada en por ciento del voltaje a plena carga, cuando se quita la plena carga a un factor de potencia específico mientras se mantiene constante el voltaje en el extremo generador.

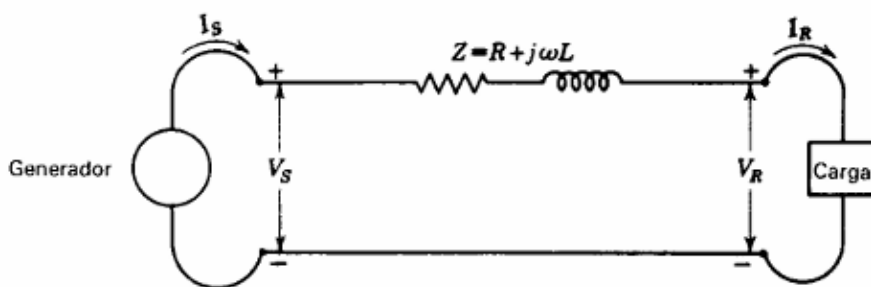


Figura 4. Circuito equivalente de una línea de transmisión corta.

Modelo de circuito para línea de transmisión media

En los cálculos de una línea de longitud media se incluye la admitancia paralela (generalmente capacitancia pura). Si se divide en dos partes iguales la admitancia paralelo total de la línea y cada una se coloca en los extremos generador y receptor, se obtiene el llamado circuito nominal π . Se hará referencia a la figura 5 para desarrollar las ecuaciones. Con el fin de obtener una expresión para V_s , se observa que la corriente en la capacitancia en el extremo receptor es $V_R Y/2$ y la corriente en la rama serie es $I_R + V_R Y/2$ Entonces,

$$V_s = \left(V_R \frac{Y}{2} + I_R \right) Z + V_R \quad (27)$$

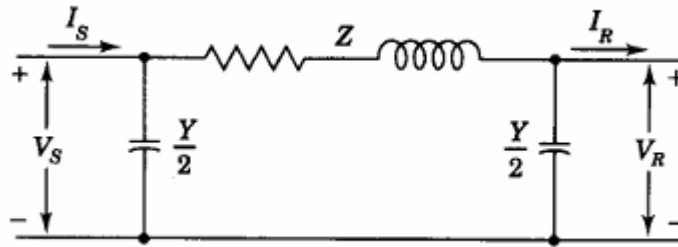


Figura 5. circuito nominal π de una línea de transmisión de longitud media.

Para encontrar la I_s , se observa que la corriente en la capacitancia en derivación en el extremo generador es $V_s Y/2$, que sumada a la corriente en la rama serie da

$$I_s = V_s \frac{Y}{2} + V_R \frac{Y}{2} + I_R \quad (28)$$

Modelo de circuito para línea de transmisión larga

La solución exacta de cualquier línea de transmisión y la que se requiera con un alto grado de exactitud al calcular líneas de 60 Hz con más de 150 millas de largo, debe de considerar el hecho que de los parámetros de la línea no están agrupados sino distribuidos uniformemente a lo largo de la línea.

En la figura 4 se muestra una fase y la conexión al neutro de una línea trifásica. No se muestran los parámetros concentrados por q se considera la solución de la línea con la impedancia y la admitancia uniformemente distribuida. se considera un elemento diferencial de longitud dx en

la línea, a una distancia x desde el extremo receptor de la línea. Entonces $z dx$ y $y dx$ son la impedancia serie y la admitancia paralelo de la sección elemental, respectivamente V e I son los fasores que varían con x .

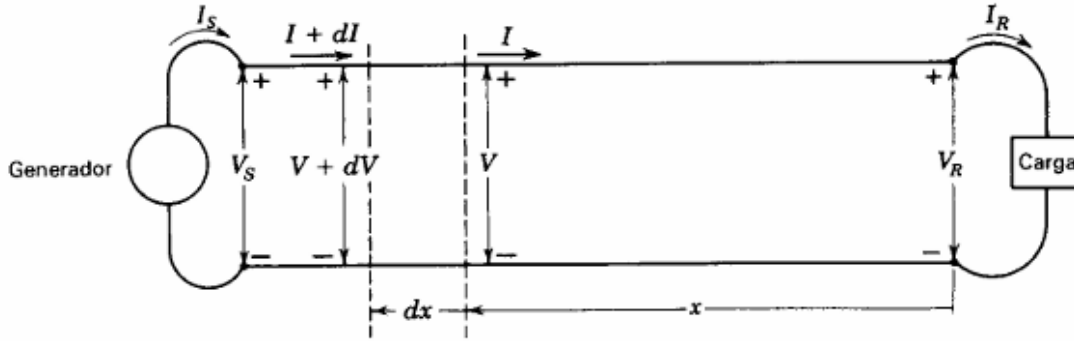


Figura 6. Diagrama esquemático de una línea de transmisión que muestra una fase y el neutro de regreso.

Para líneas de transmisión medias se tiene que:

$$V = \frac{V_R + I_R Z_c}{2} \varepsilon^{yx} + \frac{V_R - I_R Z_c}{2} \varepsilon^{-yx} \quad (29)$$

$$I = \frac{V_R / Z_c + I_R}{2} \varepsilon^{yx} + \frac{V_R / Z_c - I_R}{2} \varepsilon^{-yx} \quad (30)$$

Donde $Z_c = \sqrt{z/y}$ y se llama impedancia característica de la línea y $\gamma = \sqrt{z/y}$ y se le conoce como constante de propagación.

Las ecuaciones de V e I dan los valores rms, así como sus ángulos de fase, en cualquier punto específico a lo largo de la línea a una distancia x , desde el extremo receptor al punto específico, siempre que sean conocidos V_R, I_R y los parámetros de la línea.

Comportamiento de la línea en ETAP

La simulación del comportamiento eléctrico en líneas cortas, medias y largas es uno de los aspectos fundamentales en el análisis de redes de transmisión en ETAP. Esta simulación permite predecir cómo se comportan las líneas de transmisión bajo diferentes condiciones operativas y perturbaciones, considerando parámetros como la resistencia, la inductancia, la capacitancia y el tiempo de propagación de las ondas de voltaje y corriente a lo largo de la línea.

Simulación en ETAP

ETAP es una herramienta poderosa para realizar simulaciones del comportamiento eléctrico de las líneas de transmisión. La simulación en ETAP tiene en cuenta diferentes modelos matemáticos y físicos para representar la transmisión de potencia en diferentes tipos de líneas.

Simulación de líneas cortas

Las líneas cortas son aquellas cuya longitud es tan pequeña que los efectos de la propagación de la señal y las pérdidas resistivas y reactivas se pueden simplificar. En estos casos, el modelo de la línea de transmisión puede considerarse un circuito equivalente con los siguientes componentes:

- Resistencia (RR): Que representa las pérdidas resistivas de los conductores.
- Inductancia (LL): Para modelar el efecto de la inductancia de la línea.
- Capacitancia (CC): En líneas cortas, la capacitancia generalmente se considera despreciable.

Modelo de línea de circuito equivalente: ETAP utiliza un modelo simplificado para líneas cortas, donde los parámetros de impedancia y admisión se calculan utilizando las fórmulas de resistencia y reactancia por unidad de longitud.

Flujo de potencia: En la simulación de líneas cortas, se realiza un análisis de flujo de potencia donde la capacidad de la línea de transmitir potencia es dependiente de la resistencia y la reactancia. Dado que la longitud de la línea es corta, los efectos de retraso en la señal son mínimos y se pueden aproximar usando las fórmulas tradicionales de circuitos R-L.

Impacto en el análisis

Pérdidas de potencia activa y reactiva: Las líneas cortas experimentan pérdidas mínimas debido a su longitud y resistencia relativamente baja. ETAP calcula la potencia activa y reactiva con modelos estándar de resistencia e inductancia, sin necesidad de considerar la propagación de ondas.

Modelado de líneas de transmisión en ETAP

El modelado de líneas de transmisión en ETAP abarca tanto las líneas medias como las líneas largas, adaptando el enfoque según la longitud de la línea y los efectos eléctricos predominantes. Estos modelos permiten analizar fenómenos como las pérdidas, el desfase de voltaje y corriente, y la propagación de ondas.

Simulación de líneas medias

Las líneas medias, que suelen tener una longitud entre 80 km y 250 km, presentan efectos reactivos más significativos que las líneas cortas. Estos efectos influyen en el desfase y las pérdidas, pero aún pueden simplificarse utilizando modelos concentrados.

Modelo de línea de transmisión:

Modelo de línea de dos parámetros (R-L):

- a) Considera resistencia (RR) e inductancia (LL).
- b) Incluye los efectos capacitivos (CC) para representar las cargas distribuidas entre los extremos de la línea.
- c) La capacitancia se modela como una admitancia shunt dividida entre los extremos, típica del modelo PI.

Tiempo de propagación:

- Se considera el tiempo que tarda una señal en propagarse a lo largo de la línea, lo que introduce retrasos pequeños pero importantes en el análisis.

Simulación de comportamiento

Desfase de voltaje y corriente:

- a) La inductancia y la capacitancia generan un desfase entre corriente y voltaje.
- b) ETAP simula cómo este desfase afecta la entrega de potencia a lo largo de la línea.

Simulación de líneas largas

Las líneas largas, con longitudes mayores a 250 km, requieren modelos más precisos debido a la importancia de los efectos de propagación y los transitorios.

Modelo de línea de transmisión

Modelo de parámetros distribuidos (RLC): La resistencia (RR), inductancia (LL), y capacitancia (CC) se distribuyen uniformemente a lo largo de la línea.

Este modelo considera los efectos completos de propagación, dispersión y reflexión de las ondas.

Retardos y tiempos de propagación: ETAP incluye fórmulas avanzadas que calculan los retardos de propagación, que afectan la estabilidad y el comportamiento transitorio.

Simulación de comportamiento:

Propagación de ondas: ETAP modela cómo las ondas de voltaje y corriente viajan a través de la línea, considerando efectos de reflexión en los extremos.

Simulación de transitorios:

- Los transitorios (como los generados por fallas) son modelados detalladamente.
- Se simula cómo las ondas de voltaje se reflejan o transmiten en la línea tras una perturbación.

2.7.6 Evaluación de impedancia y admitancia en líneas de transmisión

Impedancia

La impedancia (Z) de una línea de transmisión representa la oposición total que ofrece la línea al flujo de corriente alterna. Se expresa en ohmios (Ω/km) y es una cantidad compleja. Según el autor Dr. Luis Checa, la impedancia está dada por sus dos componentes, el componente real, la Resistencia (R) y su componente imaginaria, la reactancia de autoinducción o inductancia (X).

Ecuación de la impedancia:

$$Z_k = R_k + jX_k \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad (31)$$

Las componentes de la impedancia son las siguientes:

Resistencia: R_k

Reactancia de auto inducción:

$$X_k = \mathcal{L}_k \omega \text{ en } [\Omega/\text{km}] \quad (32)$$

Donde:

- $\mathcal{L}_k = \text{coeficiente de autoinducción en H/km.}$
- $\omega = \text{frecuencia angular, } \omega = 2\pi f.$

Admitancia

La admitancia es el inverso de la impedancia, esta consiste en la conductancia y la reactancia capacitiva (susceptancia), la capacitancia generalmente se desprecia porque es muy pequeña su contribución a la admitancia.

Ecuación de la admitancia:

$$Y_k = G_k + jB_k \text{ } [\text{S}/\text{km}] \quad (33)$$

Las componentes de la admitancia son:

Conductancia: G_k

Susceptancia: $B_k = C_k \omega \text{ en } [\text{S}/\text{km}]$

Donde:

- $C_k = \text{Capacidad industrial por kilometro } F/km$
- $\omega = \text{frecuencia angular}, \omega = 2\pi f$

Impedancia y admitancia en ETAP

En ETAP, el estudio de líneas de transmisión permite calcular las impedancias y admitancias de las líneas aéreas de transmisión y distribución. Estos parámetros son esenciales tanto para el diseño y construcción de nuevas líneas como para la verificación de parámetros de líneas existentes.

La herramienta utiliza el estándar IEEE 738-1993 para el cálculo de la relación corriente-temperatura de conductores aéreos, asegurando así la precisión y confiabilidad de los resultados.

Impedancia (por fase)

Resistencias de secuencia positiva, negativa y cero (R-T1, R-T2): La resistencia de secuencia es un parámetro que indica la oposición al flujo de corriente eléctrica en una línea de transmisión. ETAP calcula automáticamente en ohmios o en ohmios por unidad de longitud (kilómetro, milla, pies, metros), por fase, utilizando la información de configuración y conexión a tierra de la línea. Estos valores se ajustan automáticamente en función de los límites de temperatura especificados en la configuración del sistema.

Reactancias de secuencia positiva, negativa y cero (X): ETAP también calcula las reactancias de secuencia positiva y cero de una línea de transmisión en función de la configuración de la línea, la conexión a tierra y los efectos de agrupamiento de otras líneas. Estos cálculos se corrigen para la frecuencia operativa del sistema (50 Hz o 60 Hz) según los datos recuperados de bibliotecas métricas o inglesas. La reactancia de secuencia cero es crítica para los cálculos de corrientes de falla desequilibrada, como las que ocurren en fallas a tierra.

Susceptancias de secuencia positiva, negativa y cero (Y): La susceptancia de secuencia refleja la capacidad de la línea para almacenar energía en un campo eléctrico y se mide en microsiemens o microsiemens por unidad de longitud. ETAP calcula estos parámetros basándose igualmente que las anteriores en la configuración de la línea y la conexión a tierra. En el caso de que el valor de susceptancia sea mayor que cero, la línea se modela con una susceptancia de carga distribuida en sus extremos, si el valor es igual a cero, la línea se trata como una impedancia

externa. Al igual que con las reactancias, ETAP ajusta los valores de susceptancia según la frecuencia del sistema operativo.

Opciones de cálculo en ETAP en líneas de transmisión

Impedancia calculada (calculated): ETAP permite la opción de calcular automáticamente la impedancia de una línea basándose en los parámetros físicos, de configuración, conexión a tierra y agrupación de la línea.

Impedancia definida por el usuario (user-defined): Esta opción permite ingresar manualmente los valores de impedancia, al seleccionar esta opción, no se consideran los parámetros de agrupamiento ni los efectos de acoplamiento con otras líneas, lo que da mayor control al usuario sobre los datos específicos.

Unidades de medida

Unit: ETAP permite seleccionar las unidades de impedancia, ya sea en ohmios por unidad de longitud (pies, metros, millas o kilómetros) o en ohmios absolutos. Esta flexibilidad es clave para ajustarse a diferentes sistemas de medida y facilitar la conversión y análisis de los datos. La unidad predeterminada para los cálculos de impedancia es ohmios por milla.

The screenshot shows the 'Impedance (per phase)' dialog box in ETAP. It contains a table for impedance parameters and settings for project frequency and units.

	R - T1	X	Y
Pos.	0.4582	0.6548	6.125
Neg.	0.4582	0.6548	6.125
Zero	1.2302	2.1456	2.3508

Project Frequency: 60 Hz

Options: ☒ Calculated, ☐ User-Defined

Unit: ☒ Ohms per, ☐ Ohms

Ohms per: 1 mile

Figura 7. Editor de línea de transmisión.

2.8 Diseño de redes de distribución con ETAP

2.8.1 Principios de diseño de redes de distribución utilizando ETAP

ETAP permite la planificación y optimización de redes de distribución mediante herramientas avanzadas que simulan y predicen la respuesta del sistema utilizando vistas esquemáticas o geoespaciales. El diseño de redes de distribución hace referencia a la planificación y creación de la infraestructura que transporta la electricidad desde las subestaciones hasta los usuarios finales. Este diseño incluye algunos aspectos:

Componentes de la red: Selección y ubicación de transformadores, interruptores, líneas de distribución, reguladores de voltaje y otros equipos necesarios para asegurar una entrega de energía de manera eficiente y segura.

Análisis de carga: Se evalúa y prevé la demanda de energía en diferentes áreas para diseñar una red que pueda satisfacer las necesidades actuales y futuras.

Seguridad y confiabilidad: Incorpora sistemas de protección que permita aislar fallas sin afectar a diferentes áreas, además de minimizar las interrupciones y asegurar la continuidad del servicio.

Eficiencia energética: El objetivo es minimizar las pérdidas de energía, que se logra seleccionando adecuadamente conductores, transformadores y configuraciones de la red.

Flexibilidad y expansión: El diseño debe prever el crecimiento de la demanda de energía y la posibilidad de futuras ampliaciones o modificaciones.

2.8.2 Topología de la red y su modelado en ETAP

La topología de la red hace referencia a la disposición física y lógica de los elementos de una red eléctrica, incluyendo subestaciones, líneas de transmisión, transformadores y otros equipos, esta disposición afecta la eficiencia, confiabilidad y capacidad de la red para distribuir energía.

El modelado de la topología de la red en ETAP permite recrear el sistema con todas sus características específicas, permitiendo realizar análisis de flujo de carga, cortocircuito y estabilidad de manera precisa. A continuación, se mencionan algunos de estos:

Modelado geoespacial: ETAP permite la creación de modelos geoespaciales detallados que representan la red eléctrica en un contexto geográfico real, además incluye la visualización de líneas de transmisión, subestaciones y otros componentes en mapas GIS.

Diagramas unifilares: En el software ETAP se facilita la construcción de diagramas unifilares de sistemas de corriente alterna y corriente continua de una, dos y tres fases. Estos diagramas son esenciales para el análisis y la planificación de la red.

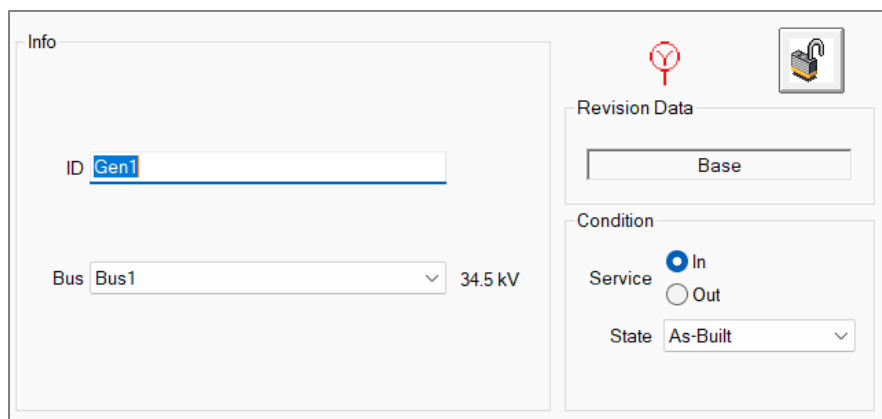
Base de datos integrada: ETAP utiliza una base de datos multidimensional que combina datos del sistema, topología y vistas en una única plataforma. Esto permite una gestión eficiente y precisa de la información de la red.

2.8.3 Configuración y parametrización básica de generadores

En el modelado básico de redes de distribución en ETAP, es común incluir varios generadores que alimentan el circuito. A continuación, se describen los aspectos básicos para configurar estos generadores.

En “info” se encontrará un apartado para colocar un nombre específico para el componente que se configurará, además de poder modificar el Bus a donde está conectado, puesto que mostrará el listado de los Buses existentes en el sistema.

La función de “condicionamiento” para el generador da la opción de elegir el servicio de dicho elemento, In/Out lo que significa si están en funcionamiento en el sistema. Por otra parte, “state” (estado) se utiliza para describir el estado de servicio del elemento, entre sus opciones se encuentran: como está construido, nuevo, futuro, entre otros.



The screenshot shows the ETAP software interface for configuring a generator. The 'Info' tab is selected, and the 'Condition' section is expanded. The 'ID' field is set to 'Gen1', the 'Bus' is set to 'Bus1', and the voltage is '34.5 kV'. The 'Service' is set to 'In' (radio button selected) and the 'State' is set to 'As-Built' (dropdown menu).

Figura 8. Información básica de un generador en ETAP.

El apartado equipo (equipment) permite agregar etiquetas, nombre y una descripción, las cuales son útiles para colocar información relevante que sea necesario recordar para el elemento configurado. Además, la casilla “Configuración” para el modo de operación proporciona la flexibilidad de usar múltiples configuraciones para tener en cuenta diferentes modos de operación, los más usados son el swing el cual se usa para configurar el bus y generador slack o compensatorio

del sistema, y la configuración de “voltage control” (control de voltaje) lo que significa que el generador ajustará su salida de VAR para controlar el voltaje.

Equipment		Configuration	
Tag #	Gen1_Principal	Normal	
Name	Generador	Operation Mode	
Description	Se utilizará para ser el Bus slack del sistema	☒ Swing	
		☐ Voltage Control	
		☐ Mvar Control	
		☐ PF Control	

Figura 9. Equipo y configuración de un generador en ETAP.

Rating o clasificación, se utiliza para asignar la potencia del generador, además de poder establecer el porcentaje de factor de potencia, MVA, eficiencia y número de polos del generador, algunos parámetros como FLA (La corriente de carga completa del generador se calcula y se muestra en amperios) y las RPM las calcula automáticamente el sistema con los datos proporcionados por el usuario.

Rating					
MW	kV	% PF	MVA	% Eff.	Poles
100	34.5	85	117.647	95	8
% of Bus Nom. kV		FLA		RPM	
100		1969		900	

Figura 10. Equipo y Configuración de un generador en ETAP.

2.8.4 Configuración y parametrización básica de buses

Los buses o barras representan nodos de conexión dentro de un sistema eléctrico donde se interconectan múltiples componentes, como generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas. Estos elementos son esenciales para la distribución de energía eléctrica, ya que permiten la unión y el flujo de corriente entre diferentes partes de la red.

La configuración fundamental de un nodo o bus en ETAP es asignarle los parámetros como un identificador, el voltaje nominal en kilo voltios, el valor en porcentaje del voltaje que trabaja la condición del servicio de funcionamiento de la barra.

	% V	kV	Angle
Initial	100	34.5	0
Operating	0	0	0

Figura 11. Configuración de bus en ETAP.

2.8.5 Configuración y parametrización básica de transformadores

En ETAP, cada transformador se asigna una identificación única (ID) que permite su distinción dentro del sistema. Esta ID puede configurarse manualmente o generarse automáticamente, facilitando la organización y el rastreo de los transformadores en proyectos complejos. Además, permite seleccionar el tipo de conexión de barra (primaria o secundaria) según sea trifásica o monofásica, lo que afecta la topología y el análisis del sistema.

Figura 12. Equipo y configuración de un transformador en ETAP.

La clasificación de voltaje permite configurar los voltajes primario y secundario del transformador, donde FLA (Full Load Amperes o Amperios a Carga Completa), muestra la corriente que circula por los devanados primario y secundario de un transformador cuando opera a su máxima capacidad de carga los cuales son calculados automáticamente por ETAP.

Power rating o clasificación de potencia, se asignan los MVA de la capacidad del transformador a utilizar.

Voltage Rating		FLA	Nominal Bus kV
Prim.	34.5	836.7	34.5
Sec.	13.2	2187	13.2

Other 65

Power Rating	
MVA	
Rated	50
Derated	50

Other 65

Figura 13. Configuración de un transformador en ETAP.

Los ajustes de impedancia en transformadores en ETAP son cruciales para modelar la respuesta de un transformador en distintas condiciones de carga. La impedancia positiva se utiliza para los estudios de carga y flujos de potencia en condiciones normales de operación. La impedancia de secuencia cero se aplica en análisis de fallas con retorno a tierra, como las fallas monofásicas, y es importante en la evaluación de sistemas de protección, ambas impedancias que se ingresan en ETAP deben ser dadas en porcentajes. Por otro lado, ETAP también permite establecer impedancias típicas para el sistema que son asignadas y calculadas por el software.

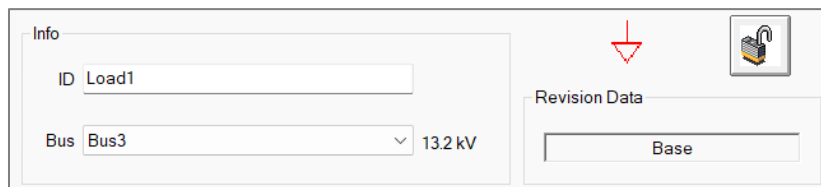
	%Z	X/R	R/X	%X	%R
Positive	7	29.5	0.034	6.996	0.237
Zero	7	29.5	0.034	6.996	0.237

Typical Z & X/R Typical X/R

Figura 14. Equipo y configuración de un transformador en ETAP.

2.8.6 Configuración y parametrización básica de cargas estáticas

La configuración básica de una carga en ETAP comienza con la identificación de la carga que permite buscar en el sistema cada elemento en específico de una forma más rápida. Además de asignarle al Bus o nodo en el cual está conectada.



Info

ID Load1

Bus Bus3 13.2 kV

Revision Data

Base

Figura 15. Equipo y Configuración de una carga en ETAP.

La clasificación de los parámetros de potencia, los parámetros de potencia activa (kW) y potencia reactiva (kVAR) se ingresan según el tipo de carga, ajustando sus valores según la demanda que representan en el sistema. Al ingresar estos parámetros el software calcula automáticamente los valores para las demás categorías, pero el usuario también tiene la posibilidad de modificarlos según sea el caso.



Ratings

kV MVA MW Mvar % PF Amps

13.2 20 18 8.718 90 874.8

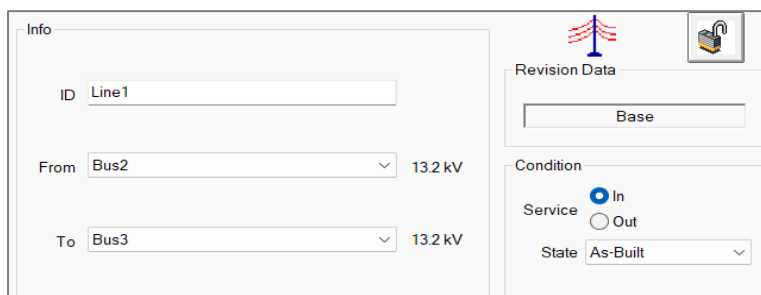
Grounding

Calculator...

Figura 16. Equipo y configuración de una carga en ETAP.

2.8.7 Configuración y parametrización básica de líneas de transmisión

Para las líneas de transmisión se asigna una identificación única que permite su distinción dentro del sistema. Define también a los nodos que está conectado y la condición de servicio que tiene en la red.



Info

ID Line1

From Bus2 13.2 kV

To Bus3 13.2 kV

Revision Data

Base

Condition

Service ☒ In ☐ Out

State As-Built

Figura 17. Equipo y configuración de una línea de transmisión en ETAP.

ETAP establece los parámetros del conductor, muestra un resumen del tipo de conductor, temperaturas soportadas, frecuencia, entre otros datos.

Conductor type o tipo de conductor, permite elegir entre conductores de cobre o aluminio, según las necesidades de la red de transmisión.

Al utilizar el botón "Conductor Lib", se puede acceder a la biblioteca de ETAP para seleccionar datos de líneas de transmisión preconfigurados en la Library Quick Pick. Esto facilita el acceso a información estándar de conductores para configuraciones rápidas y precisas de las líneas de transmisión. Esto ayuda a establecer automáticamente los parámetros que se observan en la figura siguiente como el diámetro externo del conductor, el Radio Medio Geométrico (GMR), reactancia capacitiva (X_a') e inductiva (X_a).

EPRI/MLAYER	T1	25 °C	Code	267	kcmil
ACSR	60 Hz	T2	75 °C	Partridge	26 Strands

Phase Conductor					
Conductor Type	R-T1 (25 °C)	R-T2 (75 °C)	Xa	Conductor Lib...	
AL	0.3522	0.4216	0.465	ohms per 1 mile	
Outside Diameter	GMR	Xa'			
0.642 in	0.0217 ft	0.1073	megohms per 1 mile		

Figura 18. Equipo y configuración de una línea de transmisión en ETAP.

En la pestaña de configuración se aprecia el Tipo de configuración física (Configuration Type), donde se tienen varios tipos de configuraciones físicas para las líneas de transmisión, lo que permite adaptarse a distintos escenarios de instalación. Las opciones disponibles incluyen:

Horizontal: Los conductores están dispuestos de manera horizontal.

Vertical: Los conductores se encuentran dispuestos de forma vertical.

Paralela vertical: Configuración en la que los conductores están dispuestos de forma paralela, pero en una orientación vertical.

Paralela horizontal: Similar a la configuración paralela vertical, pero con los conductores dispuestos horizontalmente.

Triangular: Los conductores están dispuestos formando un triángulo.

General: Esta configuración permite especificar la ubicación física de los conductores respecto a un punto de referencia.

Entre otras opciones a configurar se tienen las siguientes:

Diámetro Medio Geométrico (GMD): Se calcula automáticamente según la configuración y el espaciamiento de los conductores.

Altura de la fase: La altura de la fase se refiere a la altura del conductor más alto del sistema, medida desde la superficie terrestre hasta el conductor.

Espaciado entre los conductores: Esta opción permite configurar los cables en diversas formas, incluyendo circuitos paralelos, donde también se debe definir la distancia entre los dos circuitos.

Disposición gráfica (Layout): El layout muestra una representación gráfica de la ubicación de los conductores y cables de tierra.

Cables de tierra (Ground Wires): Comúnmente llamado cable de guarda, se puede especificar la cantidad de ellos, así como su distanciamiento.

Conductores (conductors): Este apartado tiene opciones como la transposición de líneas. **Separación entre conductores adyacentes:** La separación entre conductores de la misma fase, medida en pulgadas o centímetros. Este parámetro es relevante para la capacidad de corriente y el análisis de pérdidas.

Número de conductores por fase: Se puede especificar hasta cuatro conductores agrupados por fase, lo cual influye en la capacidad de transmisión y el análisis de la caída de tensión.

The screenshot shows a software interface for configuring a transmission line. It includes several input fields and a diagram:

- Configuration Type:** Set to "Vertical".
- GMD:** 3.162 ft.
- Phase:**
 - Height:** 36.1 ft.
 - Spacing:**
 - AB:** 2.51 ft.
 - BC:** 2.51 ft.
 - CA:** 5.02 ft.
- Ground Wires:**
 - Number of Ground Wires:** 1
 - CG:** 2.5 ft.
- Conductors:**
 - ☐ Transposed
 - Separation:** 0 inch
 - Conductors/phase:** 1
- Layout:** A diagram showing the vertical arrangement of conductors and ground wires. It includes labels for "CG" (Ground Wire) and "Height".

Figura 19. Configuración de línea de transmisión.

CAPITULO III: PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN EL SOFTWARE ETAP-I

3.1 Modulo I: Manejo de ETAP

3.1.1 Menú y barras de herramientas

Introducción al entorno

Al abrir el programa, los usuarios se encuentran con una interfaz gráfica que consta de varios componentes clave: un menú principal, una barra de herramientas, una ventana de trabajo donde se visualizan y editan los diagramas unifilares, y paneles de control para manejar los diferentes aspectos del proyecto. Esta interfaz está pensada para ser intuitiva, permitiendo que los ingenieros realicen tareas complejas con facilidad.

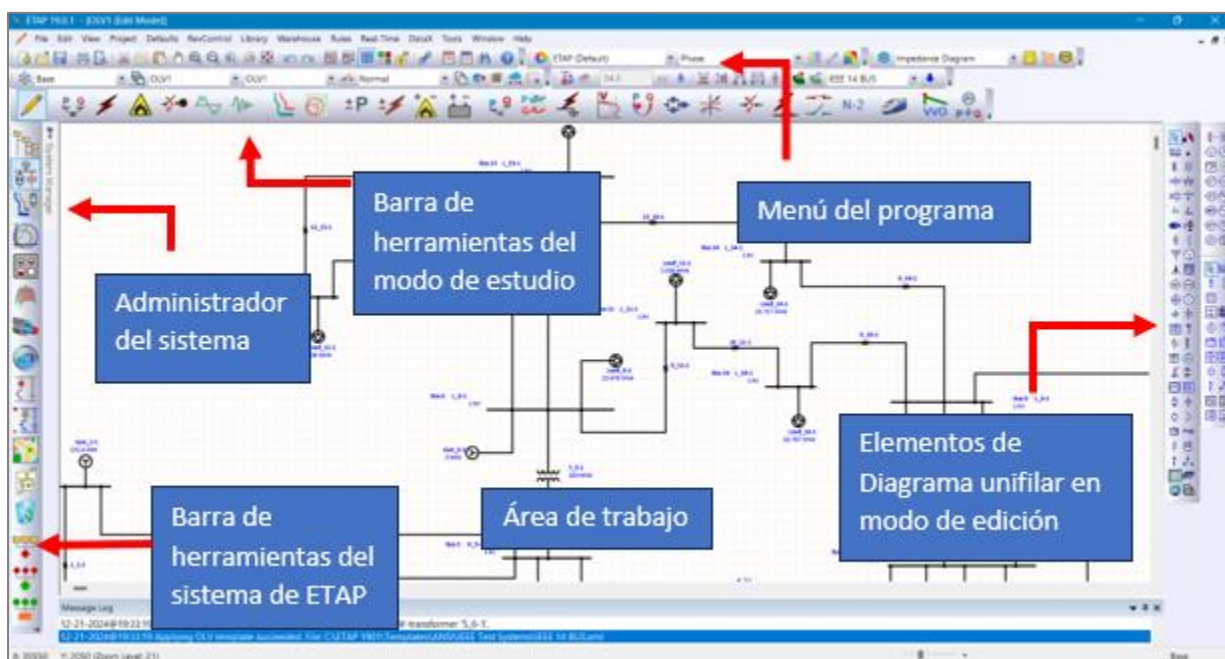


Figura 20. Interfaz software ETAP.



Figura 21. Barra de herramientas de modo de simulación de ETAP.

La barra de herramientas de modo de simulación de ETAP es una de las principales herramientas utilizadas en el software para realizar análisis eléctricos detallados y simulaciones avanzadas. Permite a los usuarios evaluar diferentes aspectos del rendimiento de un sistema eléctrico, desde estudios básicos como el flujo de carga, hasta análisis más complejos como

estabilidad transitoria, confiabilidad y optimización. Entre algunas de sus funciones podemos encontrar las siguientes:

- Modo edición.
- Simulación de flujo de carga.
- Cortocircuito.
- Arco modo flash.
- Simulación de aceleración del motor.
- Simulación de armónicos.
- Simulación de estabilidad transitoria.
- Protección y coordinación.
- Interruptor de protección y coordinación.

3.1.2 Diagramas unifilares

El módulo de diagramas unifilares en ETAP permite a los usuarios diseñar sistemas eléctricos de manera intuitiva, utilizando una interfaz gráfica que facilita la incorporación de elementos como barras de voltajes, transformadores, generadores, cargas, líneas de transmisión, entre otros.

Elementos del diagrama unifilar:

Elementos de AC (corriente alterna): Los editores de estos elementos permiten definir propiedades técnicas como capacidad, voltaje nominal, impedancias y otros parámetros eléctricos.

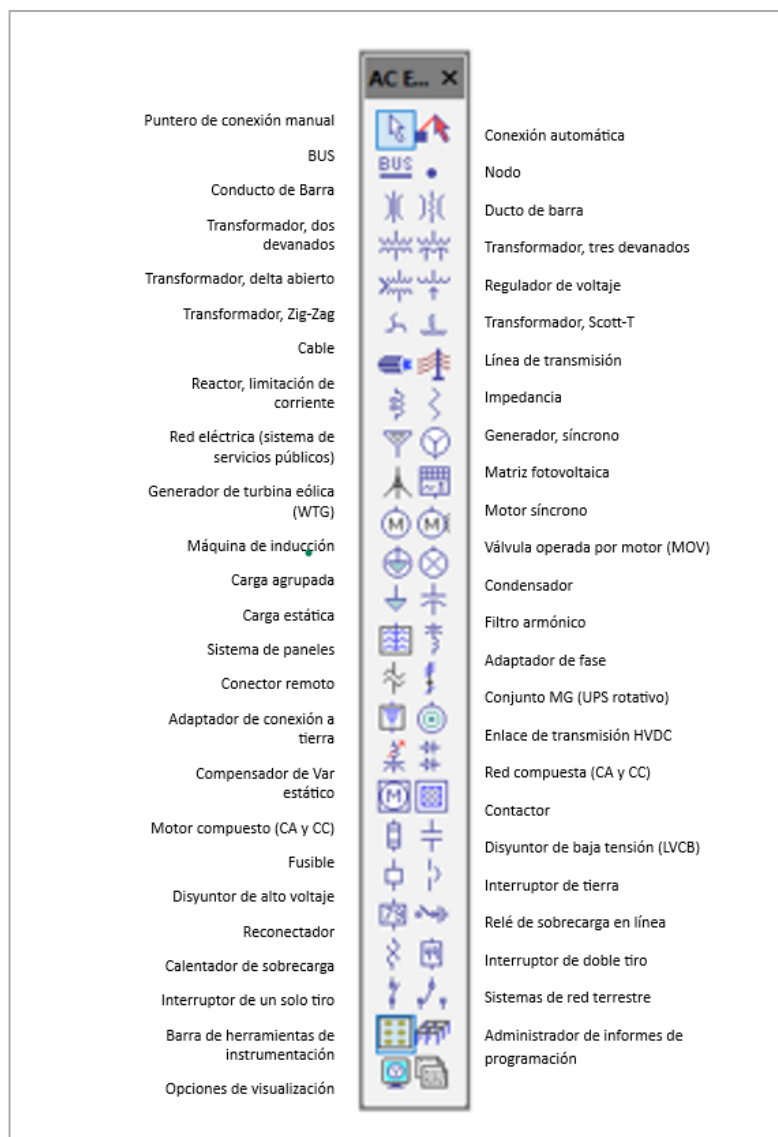


Figura 22. Elementos AC de ETAP.

3.1.3 Configuración del proyecto

Estándares del proyecto

La configuración de un proyecto en ETAP comienza con la definición de sus estándares. Al acceder a la sección "Standards" dentro del menú "Project", se despliega una ventana donde se establecen diferentes parámetros entre ellos, se selecciona el estándar a utilizar, ya sea ANSI o IEC, las unidades del sistema, donde estas configuraciones aseguran la coherencia y el cumplimiento de las normativas aplicables a lo largo del proyecto.

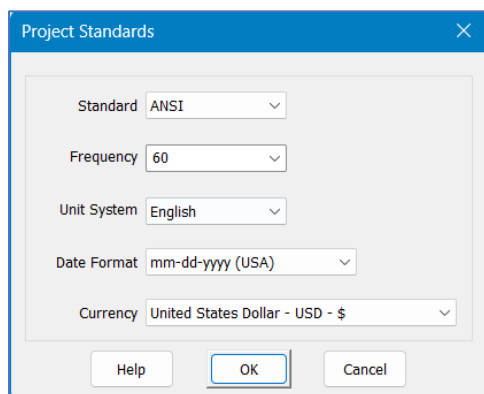


Figura 23. Estándares del proyecto.

Información básica del proyecto

En esta ventana es donde se definen los datos básicos que identifican y describen el sistema eléctrico, se introducen campos clave como el título del proyecto. Esta configuración básica proporciona un contexto general sobre el proyecto.

Figura 24. Información básica de un proyecto en ETAP.

3.2 Modulo II. Manejo de librerías ETAP

3.2.1 Manejo de librerías de ingeniería

El manejo de librerías en ETAP es fundamental para facilitar y agilizar el proceso de modelado y simulación de sistemas eléctricos. Las librerías son conjuntos de elementos predefinidos que representan equipos, dispositivos y componentes eléctricos comunes en las redes de potencia. Al utilizar librerías en ETAP, los usuarios pueden acceder a una amplia gama de elementos y modelos estándar que les permiten crear de manera rápida y precisa la representación digital de sus sistemas eléctricos.

Ventajas del manejo de librerías en ETAP:

Eficiencia en el modelado: Al contar con una variedad de elementos predefinidos en las librerías, los usuarios pueden seleccionar y agregar rápidamente los equipos necesarios a sus modelos, evitando la tarea de recrearlos desde cero.

Consistencia: El uso de librerías asegura que los elementos dentro de un proyecto se creen de forma consistente y siguiendo estándares preestablecidos, lo cual facilita la interpretación y el mantenimiento del modelo.

Actualizaciones y mejoras: Las librerías en ETAP suelen actualizarse periódicamente para incluir nuevos elementos y mejorar la precisión de los modelos. Al tener acceso a estas actualizaciones, los usuarios pueden mantenerse al día con las últimas tecnologías y estándares de la industria. El manejo de librerías en ETAP simplifica el proceso de modelado y simulación de sistemas eléctricos al proporcionar una amplia gama de elementos predefinidos que pueden ser fácilmente incorporados en los proyectos, lo que resulta en un trabajo más eficiente, consistente y preciso. ETAP provee librerías de diversos dispositivos para los cuales ETAP ha recopilado información típica y estandarizada de fabricantes.

Librerías de ingeniería

Entre las librerías que brinda ETAP están:

- Librerías de cables BT y MT.
- Librerías de motores en BT y MT.

- Librerías de relé.
- Librerías de interruptores de BT y MT.

Menú de librerías ETAP

El menú librería muestra las diferentes pestañas de las librerías que ofrece, librería de motores, relé, cables, transformadores.

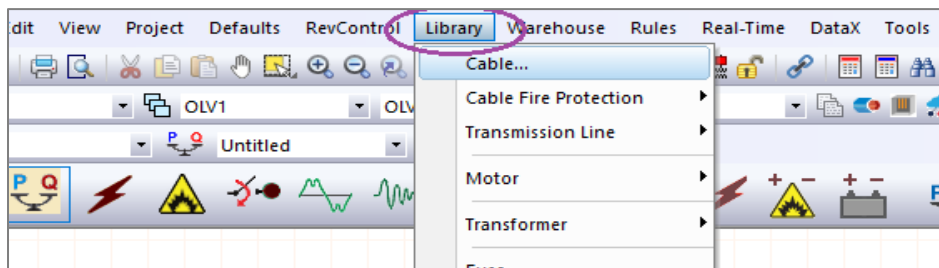


Figura 25. Barra de herramientas librería.

3.2.2 Librerías de cables BT y MT

La librería de cables en ETAP es una herramienta esencial para modelar de manera precisa y eficiente los sistemas eléctricos. La librería de cables le permite agregar nuevos encabezados de cables o seleccionar encabezados de cables existentes para editarlos, eliminarlos o copiarlos.

Base		Info		Conductor		Insulation	
Unit System	Metric	Source Name	NEC	Type	Copper	Type	Rubber
Frequency	60	Installation	Magnetic	# / Cable	3/C	kV	0.6
U/G Ampacity		A/G Ampacity		Unit Length		% Class	
Ta	20 °C	Ta	40 °C	1000	m	100	
Tc	90 °C	Tc	90 °C				
RHO	90			Resistance			
				Base Temp.			
				75 °C			

Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 26. Librería de cables.

Descripción de encabezado de cable para: Base

- Unit system (sistema de unidades): Sistema de unidades métricas o inglesas; utilizado para todas las dimensiones físicas del cable.
- Frequency (frecuencia): Base nominal del cable en HZ.
- Sección info.
- Source name (nombre de la fuente): Nombre de la librería, ICEA, NEC.
- Installation (instalación): En esta sección se coloca el tipo de instalación de conductos magnéticos o no magnéticos.

Descripción de encabezado de cable para: Conductor

- Type (tipo de conductor): Se coloca tipo de conductor si es aluminio o cobre.
- # cable: Cantidad de cables, monoconductores 1/C o triconductores 3/C.
- Insulation (aislamiento): En esta sección se coloca el tipo de aislamiento, la tensión nominal del cable, el porcentaje de voltaje de aislamiento.
- U/G Ampacity: En esta sección se coloca la temperatura ambiente en grados °C.
- Tc: Temperatura máxima permitida del conductor en grados °C.
- RHO: Resistividad térmica del suelo en grados °C-cm/Watt.
- Ampacidad A/G: Esta sección se coloca la temperatura ambiente del suelo en grados °C.
- Tc: Temperatura máxima permitida del conductor en grados Centígrados.
- Unit length (longitud de la unidad): Se coloca la longitud del cable impedancia y peso.
- Base temp (temperatura base): Temperatura base de la resistencia del conductor en grados Centígrados.

3.2.3 Librería de motores en BT y MT

ETAP ofrece la biblioteca de placas de identificación del motor, configurada de manera similar a un sistema de directorio de archivos. Donde se puede seleccionar la frecuencia y unidad deseadas. Se pueden especificar encabezados (fabricantes) ilimitados dentro de la biblioteca. Dentro de cada encabezado, hay varios niveles de voltaje disponibles. Se pueden seleccionar los tipos de placa de identificación del motor para cada nivel de voltaje.

Placa de identificación de la librería de motor:

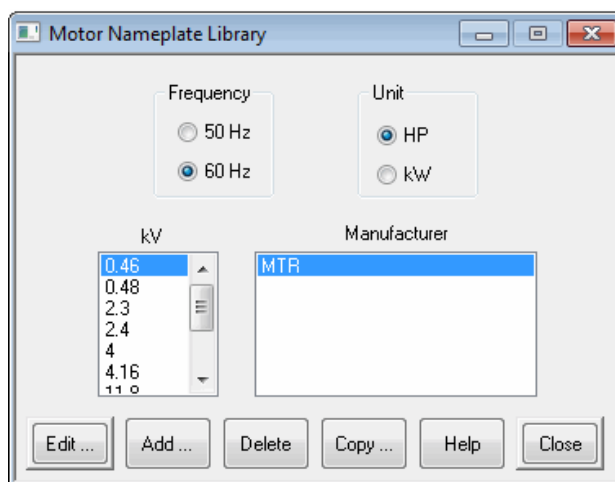


Figura 27. Librería de motor.

El encabezado de la placa de identificación del motor consta de la frecuencia, el sistema unitario, el nivel de voltaje y el fabricante. La librería de placas de identificación de motores le permite agregar modelos de placas de identificación de motores o modificar/copiar modelos de placas de identificación de motores existentes.

Add (agregar): Esta sección permite agregar y especificar el nombre del fabricante que se desea agregar a la librería.

Edit (editar): Este editor de hojas de cálculo le permite ver y editar datos de la biblioteca de placas de identificación del motor. Seleccione la frecuencia de operación del diseño del motor y las unidades para la clasificación mecánica del motor seleccionado.

Copy (copiar): Esta función se puede utilizar para cambiar especificaciones en la biblioteca sin modificar los datos originales.

3.2.4 Librería de relés

En la barra de menú seleccionar la opción librería se desplegará una lista de componentes escoger la sección de relé. Esto abrirá el editor de relé. Los campos del editor de la librería se describen a continuación.

Manufacturer (fabricante): Enumera todos los fabricantes de relés.

Add: Se utiliza para ingresar el nombre del fabricante del relé que desea agregar a la biblioteca.

Reference (Referencia): Introducir la referencia, si está disponible, del fabricante. Este campo se proporciona sólo como referencia y puede dejarse en blanco.

Editar información: Puede editar las propiedades de un fabricante nuevo o existente resaltándolo de la lista proporcionada y luego haciendo clic en el botón Editar información.

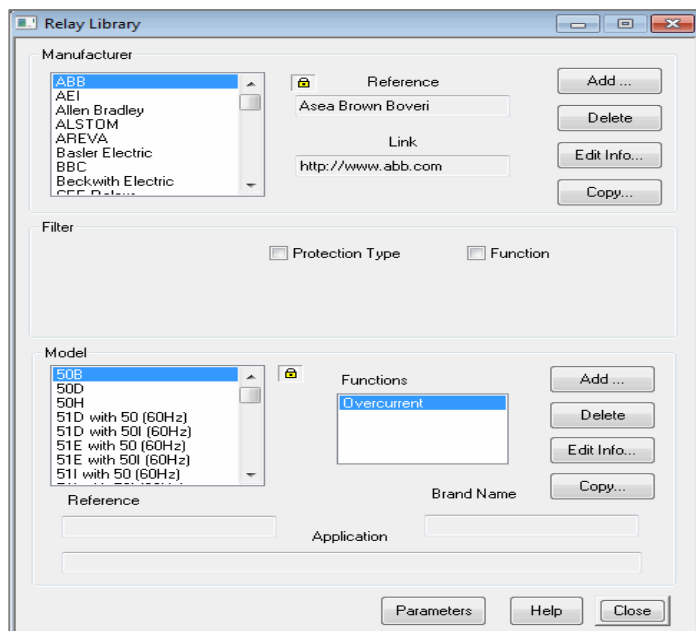


Figura 28. Librería de relés.

3.2.5 Librería de interruptores BT y MT

Para acceder al editor de librería de dispositivos de disparo de estado sólido nos dirigimos a la barra de menú y se selecciona la librería, se despliega lista de elementos, luego se accede a dispositivo de disparo y estado sólido, en el cual encontramos las siguientes características haciendo referencia a la figura 25.

- **Manufacturer (fabricante):** En esta sección se encuentran enumerados los fabricantes de dispositivos.
- **Add:** Se utiliza para ingresar el nombre del fabricante del dispositivo que desea agregar a la biblioteca.
- **Edit información (editar información):** Puede editar las propiedades de un fabricante nuevo o existente resaltándolo de la lista proporcionada y luego haciendo clic en el botón Editar información.
- **Delete (borrar):** Elimina el fabricante del dispositivo seleccionado y todos los modelos del fabricante.
- **Model (modelo):** Enumera todos los modelos para el fabricante del dispositivo de viaje seleccionado.
- **Add model (agregar modelo):** En esta sección se ingresa el nombre del modelo de dispositivo que desea agregar a la biblioteca.
- **Edit info model:** Permite editar las propiedades de un modelo nuevo o existente resaltándolo de la lista proporcionada y luego haciendo clic en el botón editar información.
- **Delete model:** Elimina el modelo de dispositivo seleccionado, seleccione el modelo resaltándolo de la lista proporcionada y luego haga clic en el botón eliminar.

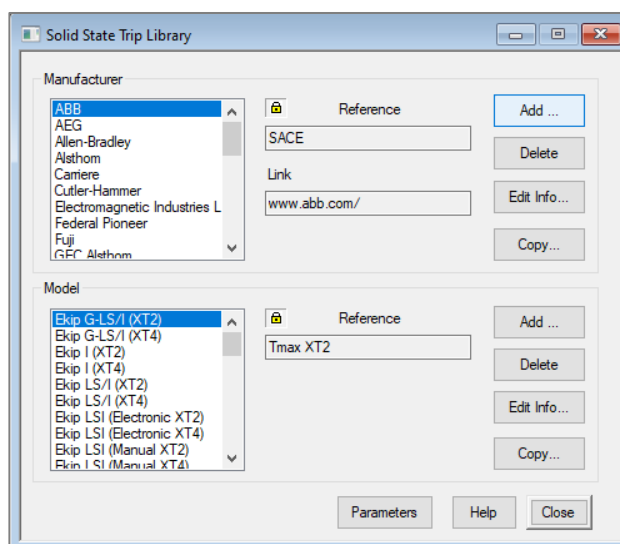


Figura 29. Librería de interruptor de estado sólido.

3.3 Módulo III: Modelado de red en ETAP

3.3.1 Gestión de proyectos y datos

La gestión de proyectos en ETAP incluye la organización de configuraciones y escenarios, así como el control de cambios en sistemas eléctricos.

ETAP permite crear y gestionar varios escenarios dentro de un mismo proyecto, lo que facilita la comparación de configuraciones de sistemas bajo diferentes condiciones operativas.

Las herramientas del "Scenario Manager" posibilitan la personalización de parámetros de cargas, generadores y configuraciones de red.

Utilidad específica: Estas herramientas son particularmente útiles para:

Análisis de contingencias: Modelar diferentes fallas en la red y evaluar su impacto en tiempo real.

Estabilidad transitoria: Examinar la respuesta del sistema frente a perturbaciones como desconexiones de generadores o cambios bruscos de carga.

Modelación de fallas: Simular condiciones de cortocircuito y evaluar cómo las protecciones actúan en cada caso.

Técnicas avanzadas: ETAP ofrece funcionalidades como "Time Domain Simulation" para escenarios de dinámica de sistemas y el uso de "Dynamic Parameter Estimation" para evaluar variables críticas en entornos cambiantes.

Los proyectos se guardan en dos formatos principales:

.OTI (Input File): Contiene configuraciones y datos base.

.OTD (Output File): Almacena resultados de los análisis realizados.

Para grandes sistemas, ETAP permite dividir proyectos en subproyectos que pueden integrarse posteriormente, mejorando la escalabilidad y el rendimiento.

Control de versiones y registros de cambios.

La funcionalidad de versiones permite documentar y rastrear modificaciones en los proyectos, garantizando una evolución ordenada y verificable.

Los cambios pueden propagarse automáticamente a escenarios derivados, reduciendo errores y esfuerzos manuales.

La gestión de datos en ETAP abarca desde la organización de bases de datos hasta la validación automática de información.

Bases de datos centralizadas.

ETAP incluye una base de datos integral para almacenar y acceder a información detallada de equipos eléctricos.

La reutilización de datos estandarizados mejora la consistencia y reduce la redundancia.

Escalabilidad: ETAP puede integrarse con bases de datos externas, como Oracle o SQL Server, utilizando conectores de alto rendimiento para manejar redes extensas y complejas.

Validación de datos

ETAP verifica automáticamente inconsistencias, como parámetros fuera de rango o errores en conexiones.

Algoritmos avanzados: El software emplea algoritmos que identifican y corrigen inconsistencias en redes de gran escala, como:

- Verificación de continuidad en las conexiones.
- Identificación de valores extremos en cargas y generadores.
- Detección de configuraciones no factibles en condiciones de operación.
- Componentes del diagrama unifilar.

3.3.2. Base de datos de casos de estudio

La base de datos de casos de estudio en ETAP permite almacenar, gestionar y analizar diversas configuraciones de sistemas eléctricos. Esta funcionalidad es fundamental para evaluar escenarios específicos, simular condiciones operativas y comparar resultados. A continuación, se presenta un análisis detallado sobre su implementación y utilización:

1. Estructura de la base de datos

La base de datos de ETAP está diseñada para gestionar una amplia gama de datos relacionados con componentes, configuraciones y resultados de simulaciones:

Datos maestros: Incluyen información técnica de equipos, como transformadores, generadores, cables y cargas.

Casos específicos: Permiten almacenar diferentes configuraciones del sistema, considerando variantes en la topología, niveles de carga y generación.

Resultados de simulación: Cada caso puede incluir resultados de análisis como flujos de potencia, cortocircuitos, estabilidad y protecciones.

La estructura jerárquica y modular de ETAP facilita el acceso rápido y eficiente a estos datos.

2. Creación de casos de estudio

La base de datos de casos de estudio permite crear múltiples escenarios para un mismo sistema eléctrico. Los pasos generales incluyen:

Definición del sistema base: Modelado del sistema eléctrico principal con todos los componentes relevantes.

Duplicación de configuraciones: Creación de copias del modelo base para evaluar condiciones específicas.

Ajustes en parámetros: Modificación de valores como tensión, potencia y configuraciones de protección.

Asignación de nombres y descripciones: Identificación clara de cada caso para facilitar su gestión y consulta posterior.

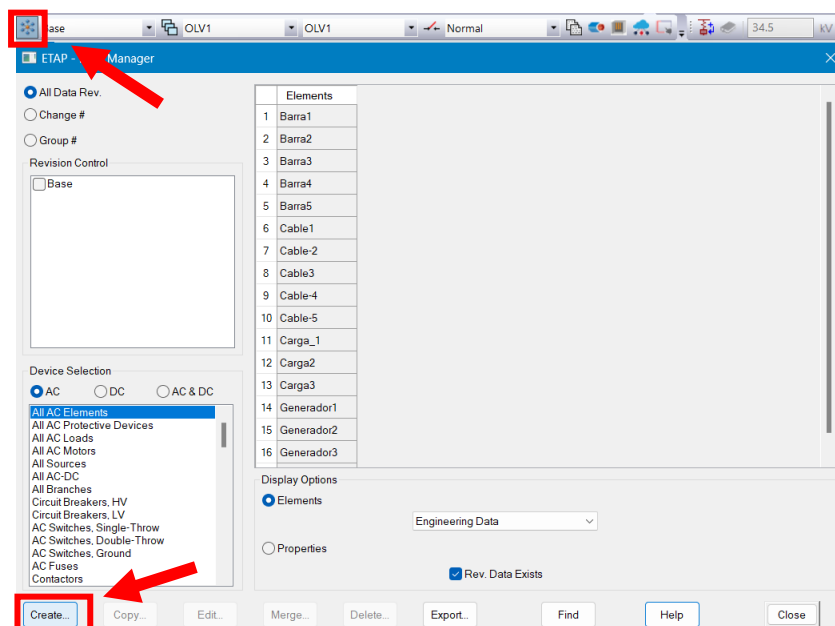


Figura 30. Creación de configuraciones.

3. Análisis y comparación de resultados

La base de datos permite realizar comparaciones detalladas entre casos de estudio. ETAP proporciona herramientas para:

Comparación de resultados: Identificación de diferencias clave en parámetros como pérdidas, tensión en nodos y flujos de corriente.

Visualización gráfica: Uso de diagramas y gráficas para interpretar los resultados.

Análisis de sensibilidad: Evaluación del impacto de cambios en parámetros críticos.

4. Ventajas de la base de datos de casos de estudio

El uso de una base de datos centralizada en ETAP proporciona beneficios significativos:

Optimización del tiempo: Reducción en el tiempo requerido para generar y analizar escenarios.

Reutilización de modelos: Capacidad de replicar y modificar configuraciones existentes.

Precisión: Garantía de consistencia en los datos utilizados en diferentes simulaciones.

Trazabilidad: Registro histórico de cambios y actualizaciones en los modelos.

5. Aplicaciones típicas

La base de datos de casos de estudio se emplea en diversas aplicaciones:

Planificación del sistema eléctrico: Evaluación de la capacidad de carga y expansión futura.

Estudios de contingencia: Simulación de fallas y análisis de respuestas del sistema.

Optimización de protecciones: Ajuste de relés y dispositivos de protección para diferentes condiciones operativas.

Integración de renovables: Análisis del impacto de recursos intermitentes en la red.

6. Integración con otras herramientas de ETAP

ETAP permite una integración fluida entre la base de datos de casos de estudio y sus módulos avanzados:

Módulo de flujos de potencia: Para evaluar el rendimiento en condiciones normales y de emergencia.

Análisis de armónicos: Identificación de problemas de calidad de energía en diferentes configuraciones.

3.4 Módulo IV: Estudio y análisis de flujo de carga con ETAP

3.4.1 Fundamentos técnicos

El módulo de estudio y análisis de flujo de carga en ETAP evalúa el comportamiento de sistemas eléctricos bajo condiciones operativas normales y específicas. Este análisis es clave para garantizar la eficiencia, estabilidad y seguridad del sistema, mostrando cómo se distribuyen la potencia activa y reactiva.

Proporciona datos sobre voltajes, corrientes, pérdidas, y niveles de carga en transformadores y generadores, ayudando a comprender el sistema eléctrico en distintas condiciones operativas. Identifica problemas como sobrevoltajes, subtensiones, sobrecargas, cortocircuitos y límites térmicos en operación estacionaria o de emergencia.

Es esencial para la operación y planificación del sistema eléctrico, considerando aspectos eléctricos, mecánicos y térmicos.

Métodos para el cálculo del flujo de carga en ETAP

1. Método Gauss-Seidel Acelerado

El método Gauss-Seidel es un método iterativo basado en la solución directa de las ecuaciones de potencia.

2. Método Newton-Raphson

Este método es ampliamente utilizado debido a su alta eficiencia y robustez.

3. Método de Desacoplamiento Rápido

El método desacoplamiento rápido es una variante simplificada del método Newton-Raphson. Aprovecha la separación natural entre las potencias activa y reactiva en sistemas eléctricos, lo que permite desacoplar las ecuaciones y reducir la complejidad computacional.

4. Método Newton-Raphson Adaptativo

Este método es una mejora del Newton-Raphson tradicional. ETAP lo implementa para adaptar dinámicamente los pasos iterativos según las características del sistema, mejorando la estabilidad y la eficiencia en la convergencia.

3.4.2 Herramientas y funciones del software ETAP

Las herramientas y funciones principales disponibles en la interfaz de ETAP facilitan la realización de los análisis de flujo de carga, destacando las barras de herramientas y los comandos específicos que permiten configurar y ejecutar estos estudios de manera eficiente.

A continuación, se presentan las principales barras de herramientas del software ETAP utilizadas en este módulo y funciones específicas para la ejecución del estudio de flujo de carga. Para activar el Modo de Estudio de Carga damos clic al siguiente icono:

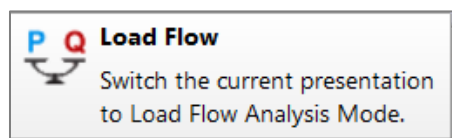


Figura 31. flujo de carga.

Donde se activará la barra de herramientas de dicho modo de simulación:

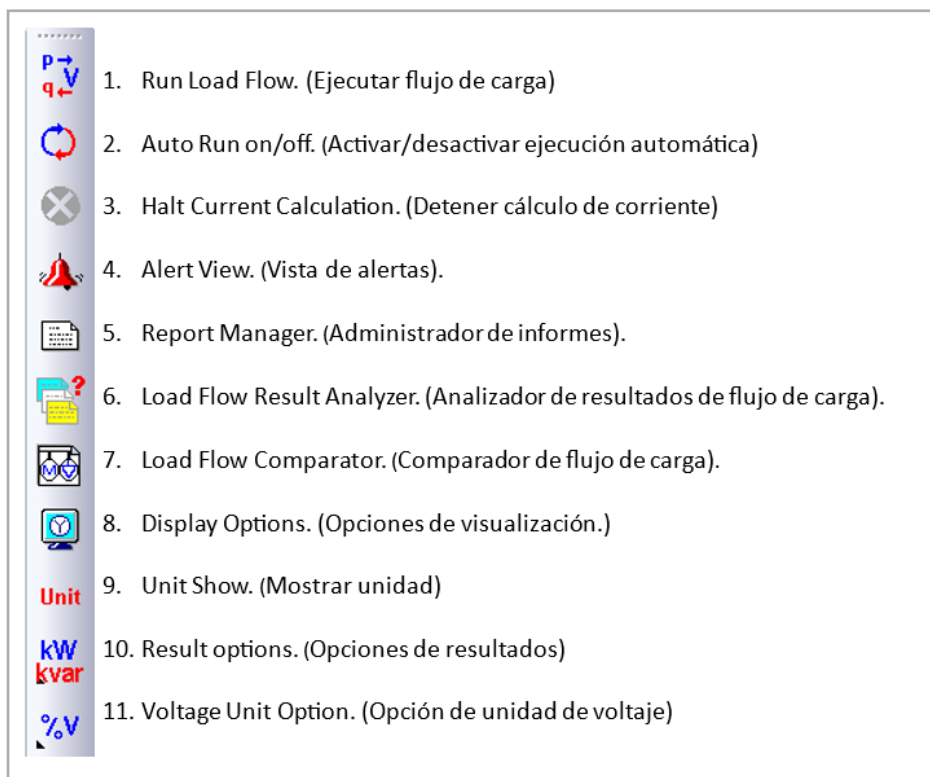


Figura 32. Barra de herramientas de análisis de Flujo de carga.

- Run load flow (ejecutar flujo de carga): Ejecuta el análisis de flujo de carga y muestra los resultados en el diagrama unifilar y el informe de salida.
- Report manager (gestor de informes): Genera informes en formatos como PDF y Excel, con opciones de informe completo, datos de entrada, resultados y resumen.
- Load flow result analyzer (analizador de resultados de flujo de carga): Permite comparar resultados de múltiples estudios de flujo de carga en una sola pantalla.
- Report type (tipo de informe): Selecciona los datos a visualizar, como información general del sistema, barras y cargas conectadas.
- Bus info (información de la barra): Muestra detalles específicos de las barras, como voltaje nominal, corriente y tipo.
- Load flow results (resultados del flujo de carga): Permite elegir los parámetros a analizar, como voltaje, potencia y corriente.
- Alert (alerta): Configura umbrales para alertas de carga, sobretensión y subtensión, destacando barras en rojo (críticas) o magenta (marginales).
- Display options (opciones de visualización de flujo de carga): Ajusta la visualización de los resultados en el diagrama unifilar.

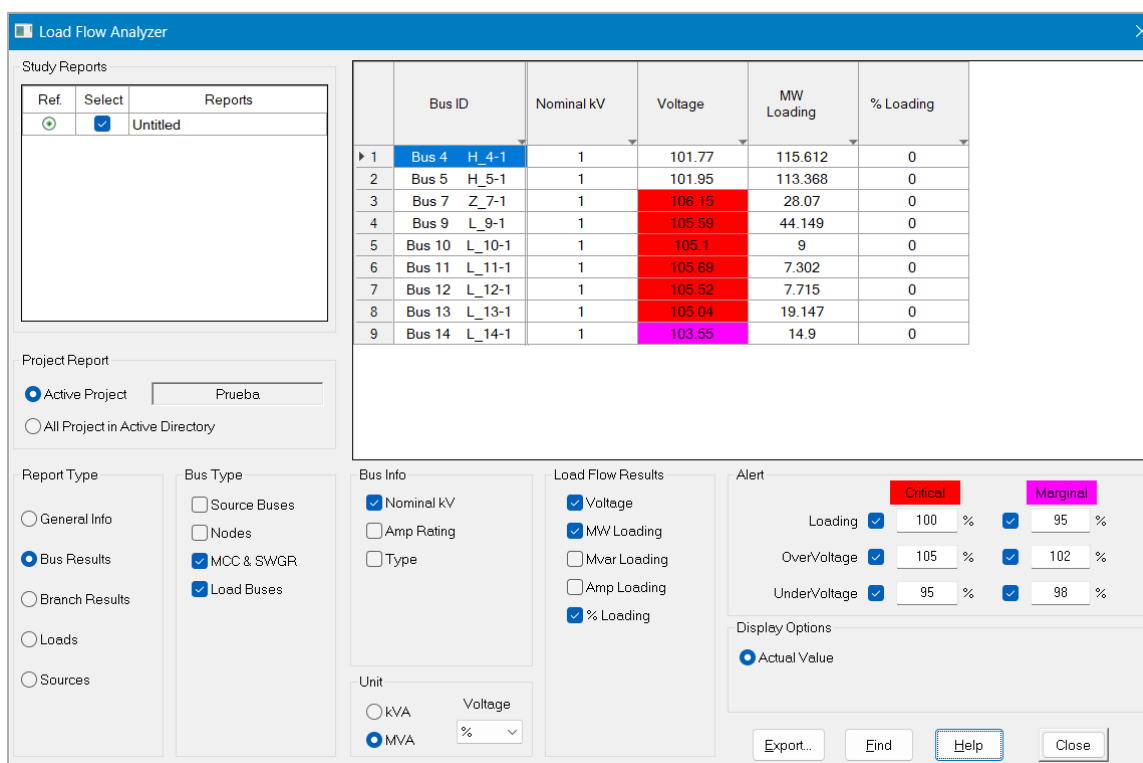


Figura 33. Analizador de flujo de carga.

3.4.3 Modo de estudio de flujo de potencia de ETAP

Flujo de carga convencional: Study Case Toolbar

El caso de estudio de flujo de carga permite gestionar los parámetros de los estudios y visualizar los reportes de salida generados por ETAP. Esta barra aparece automáticamente cuando se está en modo de estudio y facilita el control de los casos y resultados.

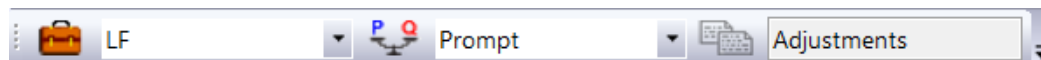


Figura 34. Caso de estudio de flujo de carga.

Opciones principales de la barra de herramientas:

1. Study case (caso de estudio):

- Permite seleccionar un caso de estudio previamente creado, como flujo de carga, cortocircuito, arranque de motor, estabilidad transitoria, o sistemas de conductos subterráneos.

- Los parámetros del caso seleccionado se usarán al ejecutar un nuevo estudio.
2. Edit study case (editar caso de estudio)
- Esta opción permite editar los parámetros del caso de estudio seleccionado, según el tipo de análisis (flujo de carga, cortocircuito, etc.).
3. Output report (reporte de salida)
- Permite seleccionar y visualizar un reporte de salida previamente generado.
 - Al ejecutar un nuevo estudio, ETAP usará el nombre del archivo de reporte mostrado.
 - Si se selecciona la opción Prompt, ETAP solicitará al usuario un nuevo nombre de archivo para el reporte y los gráficos generados.

Load flow study case “Info.”

Figura 35. Parametrización de estudio de flujo

Load flow study case (caso de estudio de flujo de carga): Configura los parámetros del análisis en ETAP, como método de cálculo, unidades de medida y condiciones iniciales.

Method (método de cálculo): Permite elegir entre Adaptive Newton-Raphson, Newton-Raphson y Fast-Decoupled.

Report (informe): Define las unidades de medida para los resultados, como voltaje nominal (kV), voltaje operativo (%) y potencia (MVA).

Options (opciones):

Initial voltage (voltaje inicial): Establece los valores iniciales del voltaje.

- Apply transformer phase shift (aplicar cambio de fase en transformadores): Considera los cambios de fase en transformadores durante el análisis.

Alert page - Load flow study case editor (página de alertas - editor de caso de estudio de flujo de carga):

- Alertas críticas: Se activan cuando un componente supera un límite crítico de carga y se muestra en rojo en el diagrama unifilar.
- Alertas marginales: Se activan cuando un componente supera un límite marginal de carga y se muestra en magenta.
- Alertas por tipo de componente: Se generan para buses, cables, líneas y transformadores cuando superan su corriente nominal o capacidad máxima.

The screenshot shows the 'Load Flow Study Case' dialog box with the 'Alert' tab selected. The 'Loading' section has a table with columns for component type, critical limit, and marginal limit. The 'Bus Voltage' section has fields for overvoltage and undervoltage limits. The 'Generator / Power Grid Excitation' section has fields for overexcited and underexcited limits. The 'Auto Display' button is visible, along with 'Copy Online Alarms' and 'Copy Online Warnings' buttons. At the bottom, there are buttons for '≤', 'LF', '≥', 'Copy', 'New', 'Delete', 'Help', 'OK', and 'Cancel'.

Component	Critical (%)	Marginal (%)
Bus	100	95
Cable/Busway	100	95
Line	100	95
Reactor	100	95
Transformer	100	95
Panel/UPS/VFD	100	95
PD	100	95
Generator	100	95
Inverter/Charger	100	95

Figura 36. Configuración de alertas para análisis de flujo de carga.

Alertas de voltaje en barras (bus voltage alerts): Estas alertas se generan si el porcentaje de voltaje de la barra supera o cae por debajo del valor nominal especificado, indicando sobretensión o baja tensión.

3.5 Módulo V: Estudio de compensación reactiva en ETAP

3.5.1 Fundamentos técnicos

Importancia de la energía reactiva

Existen diferentes cargas conectadas al sistema eléctrico que toman energía activa y energía reactiva para operar. La energía activa produce o genera un beneficio en el dispositivo al que es suministrado es decir el equipo transforma esta energía en otra. Por otro lado, la energía reactiva no es utilizado para producir algún trabajo, esta energía es necesaria para que las cargas inductivas produzcan un campo magnético o en el caso de cargas capacitivas se establezca un campo eléctrico.

Consideraciones

La energía reactiva principalmente es producida por los centros de generación para luego a través de los enlaces de transmisión, subtransmisión y distribución ser consumida por el usuario final.

Durante el proceso de transporte se producen las siguientes afecciones:

- Pérdidas adicionales.
- Envejecimiento prematuro del equipo.
- Mayor costo de la electricidad.
- Posibles fluctuaciones de la tensión.
- Factor de potencia.

El factor de potencia indicará el rendimiento de una instalación. Entre más pequeño sea el desfase angular entre la tensión y la corriente, el factor de potencia se acerca más a la unidad. Si el desfase es motivado por la presencia de un inductor entonces el FP es inductivo

o atrasado. Si el desfaseamiento es motivado por la presencia de un capacitor entonces el FP es capacitivo o adelantado.

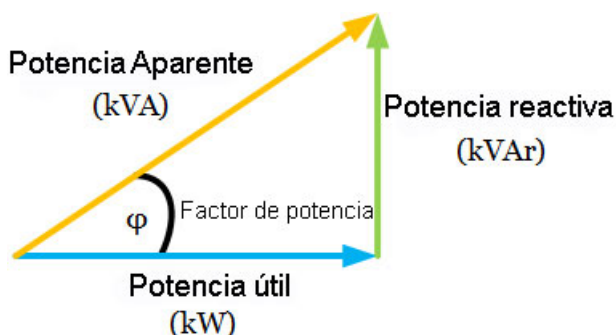


Figura 37. Triangulo de factor de potencia.

Métodos de compensación

La compensación de potencia reactiva es esencial para mejorar el factor de potencia en sistemas eléctricos, especialmente en instalaciones industriales con cargas inductivas (motores, hornos, ventiladores, etc.). Para reducir la demanda de energía reactiva, se instalan fuentes cercanas de este tipo de energía.

Los principales métodos de compensación son:

- Banco de condensadores: Conjunto de capacitores que suministran energía reactiva y reducen la demanda desde la red.
- Static Var Compensation (SVC): Dispositivo que regula la potencia reactiva en tiempo real.
- Compensador síncrono estático (STATCOM): Sistema electrónico que ajusta la compensación de forma dinámica.

3.5.2 Herramientas y funciones del software ETAP

Optimal capacitor placement

Es una herramienta de simulación diseñada específicamente para la compensación reactiva, esta herramienta permite:

- Instalar bancos de condensadores en puntos idóneos con bajo perfil de tensión.

- Corrección del factor de potencia.
- Minimiza el costo de la compensación.

Este módulo de simulación cuenta con el respectivo caso de estudio.



Figura 38. Icono de Optimal capacitor placement y Caso de estudio.

Descripción de edito caso de estudio:

The screenshot shows a software window titled 'Optimal Capacitor Placement Study Case'. It has several tabs: 'Info', 'Loading', 'Voltage Constraint', 'Power Factor Constraint', 'Capacitor', and 'Adjustment'. The 'Power Factor Constraint' tab is active. Inside, there's a checkbox for 'Allow Over Compensation' which is checked. Below that, under 'Global Constraint', there's a checkbox for 'Global Constraint' which is checked, and a 'Min. PF' field set to '90 %'. Under 'Individual Constraint', there's a table with columns 'Bus ID', 'kV', and '% Min'. Below the table are 'Select' and 'Deselect' buttons. To the right of the table is an 'Available Bus' section with radio buttons for 'All', 'High Voltage', and 'Low Voltage', and a checkbox for 'Include Nodes'. To the right of that is a 'Default Settings' section with 'Max. PF' set to '100 %' and 'Min. PF' set to '90 %'.

Bus ID	kV	% Min
Bus1	0.48	
Bus2	0.48	
Bus4	0.48	
Bus5	0.48	
Bus9	4.16	

Figura 39. Parametrización de Optimal Capacitor.

- Allow over compensation (permitir sobrecompensación): Permite que el Módulo OCP agregue capacitores para suministrar más potencia reactiva de la necesaria si es económicamente viable.
- General constraint (restricción general): Define los límites globales del factor de potencia máximo y mínimo.

- Máx. FP (factor de potencia máximo): Límite global del factor de potencia máximo, excepto para buses con restricciones individuales (no disponible si se permite sobrecompensación).
- Mín. FP (factor de potencia mínimo): Límite global del factor de potencia mínimo, excepto para buses con restricciones individuales.
- Individual constraint (restricción individual): Lista de buses seleccionados con su ID, voltaje en kV y factores de potencia máximo y mínimo.
- Available bus (buses disponibles): Define qué buses serán visibles, con cuatro opciones:
 - All (todos): Muestra todos los buses.
 - High voltage (alto voltaje): Muestra barras con tensión nominal superior a 1 kV.
 - Low voltage (bajo voltaje): Muestra barras con tensión nominal de 1 kV o menos.
 - Include nodes (incluir nodos): Permite incluir nodos como buses.

3.5.3 Estudio de compensación reactiva con software ETAP

La compensación reactiva es una técnica utilizada para mejorar el factor de potencia de un sistema eléctrico, reduciendo las pérdidas y mejorando la eficiencia.

Pasos para realizar un estudio de compensación reactiva en ETAP.

Antes de comenzar a realizar un estudio se tiene que hacer la creación del Modelo del Sistema:

Dibujo unifilar: Se crea un diagrama unifilar detallado del sistema eléctrico, incluyendo generadores, transformadores, líneas, cargas y puntos de conexión para los equipos de compensación.

Datos de los componentes: Se ingresan los datos de los componentes, como impedancias, tensiones nominales, capacidades.

Perfil de carga: Se define el perfil de carga del sistema, incluyendo la potencia activa y reactiva.

Estudio de flujo de carga: Se realiza un estudio de flujo de carga para determinar las tensiones, corrientes y pérdidas en el sistema en condiciones normales de operación.

Identificación de puntos de bajo factor de potencia: Se identifican las zonas del sistema donde el factor de potencia es bajo y se requieren equipos de compensación.

Selección de equipos de compensación

Bancos de capacitores: Se seleccionan los bancos de capacitores adecuados en función de la potencia reactiva requerida y la tensión del sistema.

Configuración de los parámetros: Se configuran los parámetros de los equipos, como la capacidad de los bancos de capacitores.

The screenshot shows the 'Capacitor Editor - CAP1' window. The 'Rating' tab is selected, showing the following parameters:

Rating	Cable/Vd	Cable Amp	Reliability	Remarks	Comment
0.48 kV 1 x 450 kvar					

Below the table, the 'Rating' section contains the following fields:

kV	kvar / Bank	# of Banks	kvar	Amps
0.48	450	1	450	541.3

Below the table, the 'Max. kV' field is set to 0. The 'microfarad' field is set to 5181, and the 'Xc (ohms)' field is set to 0.512. The 'Grounding' section is also visible.

Figura 40. Parametrización de Capacitor.

Descripción del editor de capacitor

Rating se encuentra los siguientes parámetros:

Kv: Ingrese el voltaje nominal del capacitor en kV. Si esta carga de capacitor es una carga trifásica, kV es el voltaje línea a línea.

Max. Kv: Ingrese el voltaje nominal máximo del capacitor en kV. Normalmente, este valor es el 110 % del kV nominal del condensador.

kvar/bank: Ingrese la potencia reactiva del capacitor por banco. Esta potencia reactiva es el var capacitivo del sistema.

bank (# de bancos): En esta sección se introduce el número de bancos de condensadores. ETAP calcula automáticamente el kvar total en función del kvar/banco y el número de bancos.

Beneficios de utilizar ETAP para estudios de compensación reactiva

- Precisión: Permite realizar cálculos precisos y detallados.
- Flexibilidad: Permite modelar una amplia variedad de sistemas eléctricos y equipos de compensación.
- Facilidad de Uso: La interfaz gráfica de usuario facilita la creación de modelos y la interpretación de resultados.

3.6. Modulo VI: Estudio y análisis de cortocircuito IEC en ETAP

3.6.1 Fundamentos técnicos

Definición de cortocircuito

Un cortocircuito es una conexión accidental o intencional, de relativa baja impedancia, en dos o más puntos en un circuito, que están normalmente a diferente potencial. Son eventos no deseados y potencialmente peligrosos que pueden ocurrir durante la operación en sistemas eléctricos de potencia, incluidos aquellos con fuentes de energía renovable y los sistemas industriales.

Características de corriente de cortocircuito

Para estudiar el sistema en este estado transitorio se divide el periodo de ocurrencia de la falla en una serie sucesiva de intervalos casi estacionarios los cuales son el periodo subtransitorio, transitorio y estacionario o permanente y se aplica el concepto de impedancia para determinar la corriente correspondiente a cada uno de estos intervalos.

Clasificación de cortocircuito

Según el tipo de cortocircuito:

- Cortocircuito balanceado, tipo “Simétrico”.

- Cortocircuito desbalanceado tipo asimétrico.

Según la topología de tipo de cortocircuito.

- Topología de cortocircuito “Trifásico: 3F”.
- Topología de cortocircuito “Monofásico: L-T/3I0”.
- Topología de cortocircuito “Bifásico: L-L”.
- Topología de cortocircuito “Bifásico a Tierra de Línea: L-L-T”

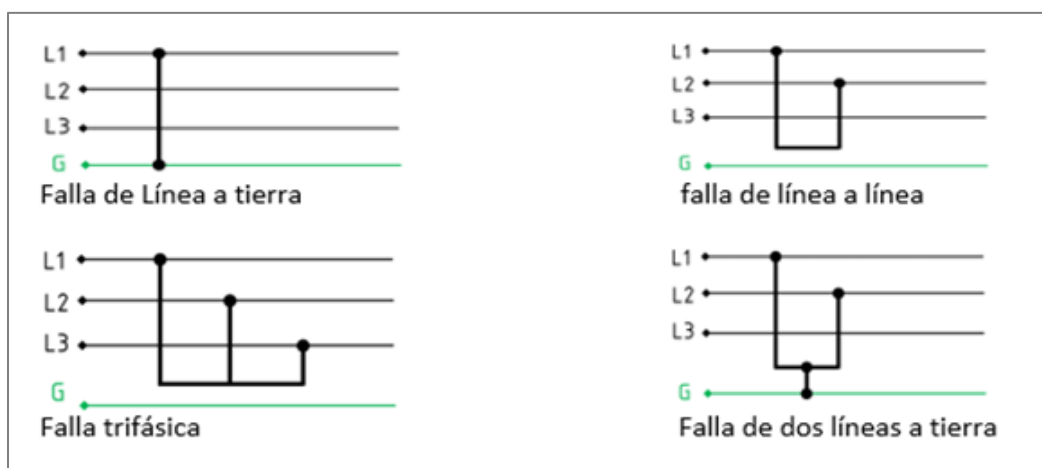


Figura 41. Tipos de fallas.

Reactancias

En las máquinas rotativas de corriente alterna generalmente la impedancia puede modelarse como una reactancia inductiva debido a la naturaleza inductiva de sus arrollados, por lo que generalmente se consideran tres reactancias (X) asociadas a cada uno de los intervalos en los que se divide la falla.

Reactancia subtransitoria X_d' : Es la reactancia aparente del arrollado del estator en el instante del cortocircuito y determina el flujo de corriente en los primeros 30 ciclos (hasta $\frac{1}{2}$ segundo) aproximadamente.

Reactancia transitoria X_d'' : Determina la corriente durante el período siguiente al subtransitorio y abarca el rango de tiempo entre $\frac{1}{2}$ y 2 segundos después de la ocurrencia del cortocircuito.

Reactancia sincrónica X_d : Determina el flujo de corriente cuando se establece el período estacionario.

3.6.2 Herramientas y funciones del software ETAP

Módulo de cortocircuito

El programa de análisis de cortocircuitos de ETAP analiza el efecto de fallas trifásicas, monofásicas, línea a tierra, línea a línea y línea a línea a tierra en los sistemas de energía eléctrica. El programa calcula las corrientes totales de cortocircuito, así como las contribuciones de motores, generadores y conexiones de servicios públicos individuales en el sistema.

Barra de herramienta cortocircuito con standar IEC

Esta barra de herramientas está activa cuando está en modo de cortocircuito y el estándar está configurado en IEC en el editor de casos de estudio de cortocircuito.

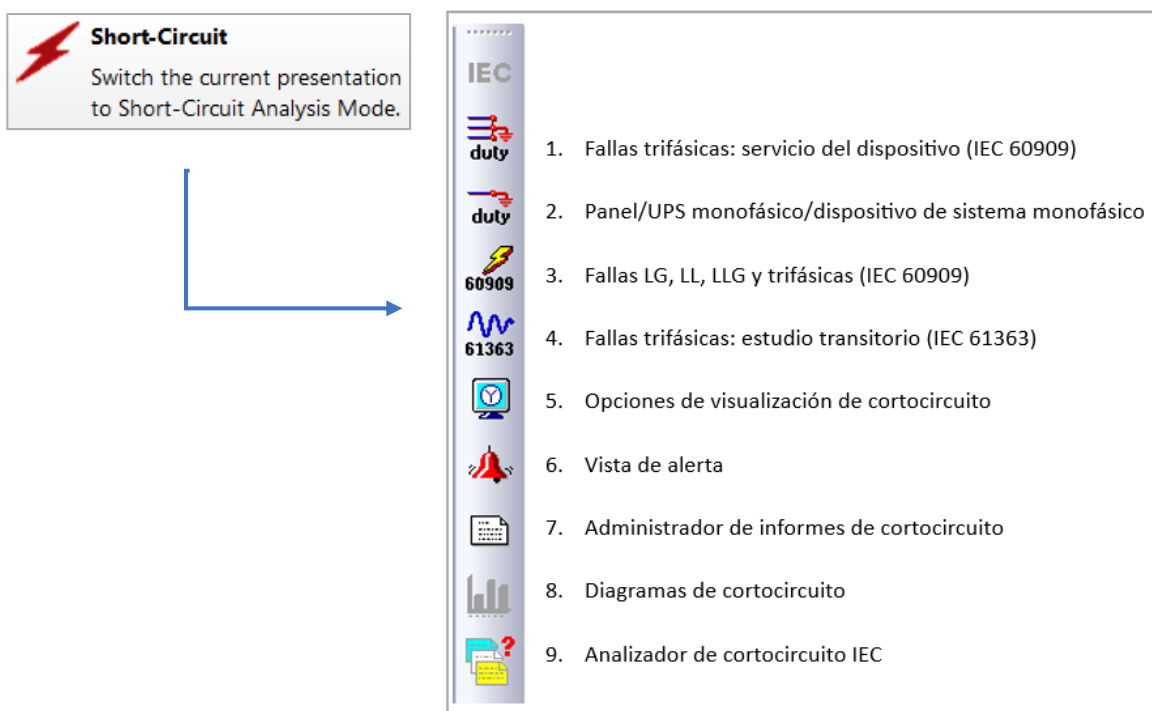


Figura 42. Barra de herramientas cortocircuito IEC.

Algunas de sus funciones se describen a continuación:

- Falla trifásica - servicio del dispositivo (IEC 60909): Calcula las corrientes de cortocircuito simétricas y asimétricas, incluyendo su compensación de CC en barras con fallas.
- Panel UPS monofásico (IEC 60909): Evalúa las corrientes simétricas iniciales (I''_k) para determinar la capacidad de los dispositivos de protección en sistemas con UPS monofásico.
- LG, LL, LLG y Falla Trifásica (IEC 60909): Estima las corrientes de cortocircuito en diferentes tipos de fallas.
- Falla Trifásica - Estudio Transitorio (IEC 61363): Analiza la corriente de cortocircuito en función del tiempo, incluyendo la compensación de CC y la envolvente de la corriente de falla.
- Opciones de visualización de cortocircuito: Permite personalizar cómo se muestran los resultados de cortocircuito en el diagrama unifilar.
- Vista de alerta: Identifica dispositivos con infracciones críticas o marginales según los parámetros definidos en el estudio.
- Administración de informes de cortocircuito: Ofrece cuatro secciones de reporte (Completo, Entrada, Resultado y Resumen) para visualizar los datos del estudio.
- Diagrama de cortocircuitos: Presenta gráficos de los diferentes componentes de la corriente de falla, como la corriente total, la componente CA y la componente CC.
- Analizador de cortocircuito: Proporciona un análisis detallado de los resultados obtenidos en la simulación.

Herramienta Caso de estudio

Esta herramienta permite crear y guardar una cantidad ilimitada de casos de estudio. Los cálculos de cortocircuito se realizan y reportan de acuerdo con la configuración del caso de estudio seleccionado en la barra de herramientas.

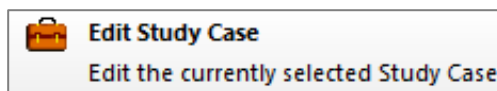


Figura 43. Caso de estudio de cortocircuito IEC.

3.6.3 Modo de estudio de cortocircuito

Modo convencional

El modo convencional de simulación en ETAP es una técnica numérica que utiliza ecuaciones matemáticas para modelar el comportamiento de un sistema eléctrico durante un cortocircuito, permite calcular con precisión las corrientes de falla, las tensiones y otras variables importantes. Para modelar el cortocircuito seleccionar en Edit study case la configuración bajo el estándar IEC/ANSI.

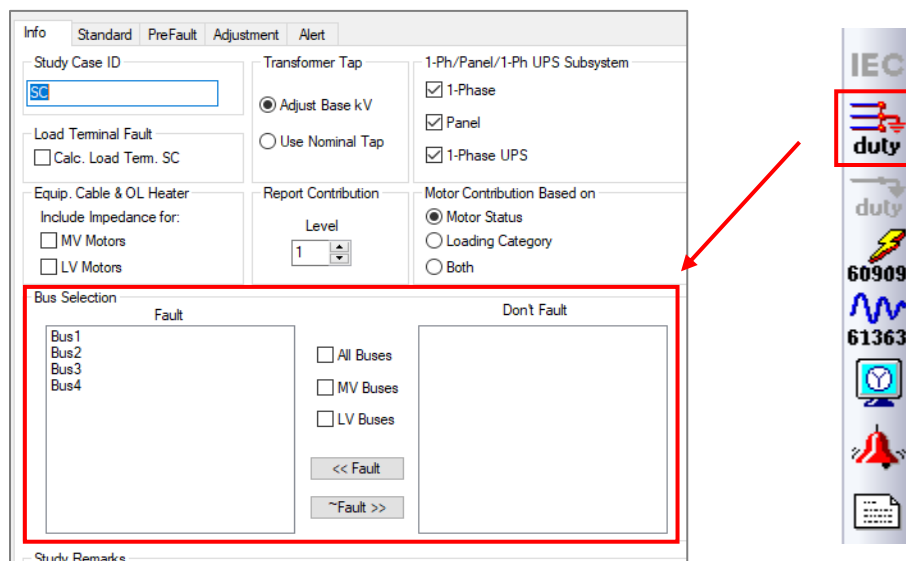


Figura 44. Parametrización de cortocircuito convencional.

En la sección bus selección, se configura el bus para simular la falla, en la sección de barra de herramientas.

3.6.4 Estudio de cortocircuito IEC y verificación del equipamiento con el software ETAP.

ETAP es una herramienta para simular y analizar sistemas eléctricos, incluyendo el cálculo de cortocircuitos bajo estándares IEC.

Figura 45. Parametrización de cortocircuito IEC.

Descripción de las funciones para la parametrización de cortocircuito IEC:

Transformer Tap:

Adjust base kV: Calcula los voltajes base de los buses según la relación de transformación del transformador.

Use nominal Tap: Utiliza la clasificación nominal del transformador para calcular los voltajes base de las barras.

Load Terminal Fault: Habilita el cálculo de la corriente de cortocircuito en los terminales de carga.

1-Ph/Panel/1-Ph UPS Subsystem: Evalúa el funcionamiento de dispositivos de cortocircuito en sistemas monofásicos, paneles trifásicos y monofásicos, y UPS monofásicos.

Cable/OL Heater: Permite incluir la impedancia de cables y equipos de protección contra sobrecarga en motores de media y baja tensión.

Motor Contribution Base On:

Estatus motor: Solo los motores en estado continuo o intermitente contribuyen al cortocircuito.

Loading category: Solo los motores con carga distinta de cero en la categoría seleccionada se incluyen en el análisis.

Both: Un motor se considerará si cumple con cualquiera de las dos condiciones anteriores.

Bus Selection: Define el bus en el que se simulará la falla de cortocircuito.

Normativas: En la pestaña estándar se encuentran disponibles las normas ANSI, IEC y GOST con diferentes variables de control para los estudios de cortocircuito.

Descripción de la pestaña standard:

Figura 46. Configuración de Normas.

Calculation method: En esta pestaña se encuentran los 3 métodos que se mencionan a continuación.

X/R para corriente máxima:

Método A: Uso de la relación uniforme X/R para calcular la corriente máxima.

Método B: Uso de la relación X/R en la ubicación del cortocircuito para calcular la corriente máxima.

Método C: Uso de frecuencia equivalente para calcular la corriente máxima.

Total, Bus Fault Current: Al seleccionar esta opción se utiliza la corriente total de falla del bus para compararla con la clasificación del dispositivo de protección para todas las clasificaciones del dispositivo de protección.

Maximum through fault current: Calcula la corriente máxima de falla para compararla con la clasificación del dispositivo de protección.

LVCB Breaking – IEC Standard: Este grupo le permite especificar qué clasificación de corriente de ruptura LVCB se utiliza para comparar con la corriente de falla calculada.

Ics: Si se selecciona esta opción, ETAP utilizará la capacidad de corte nominal del servicio de cortocircuito (kA) para compararla con la corriente de corte calculada por el módulo de cortocircuito IEC Duty (60909).

Icu: Si se selecciona esta opción, ETAP utilizará la capacidad de corte máxima de cortocircuito (kA) nominal para compararla con la corriente de corte calculada por el programa de cortocircuito IEC Duty (60909).

Cmax for Z Adjustment (<1000 V): Este grupo le permite especificar qué valor constante usar en el cálculo de los factores de corrección K utilizados para ajustar la impedancia de dispositivos como transformadores y generadores.

3.7 Módulo VII: Estudio y análisis de cortocircuito ANSI/IEEE en ETAP

3.7.1 Fundamentos técnicos

ANSI/IEEE, es un método típico de Norteamérica y se centra en las condiciones iniciales de falla, calculando las corrientes instantáneas máximas y las corrientes de estado estable utilizando un modelo de circuitos por fases. Está diseñado principalmente para aplicaciones de distribución y transmisión en sistemas eléctricos.

Además de considerar la selección de equipos, el método ANSI también se utiliza para establecer el cumplimiento de las especificaciones de dispositivos de protección, como relés y disyuntores, por ello es primordial que todos los componentes que se utilizan para la construcción del diagrama en ETAP deben de ser bajo el estándar ANSI.

3.7.2 Herramientas y funciones del software ETAP

Barra de herramientas y funciones del software ETAP:

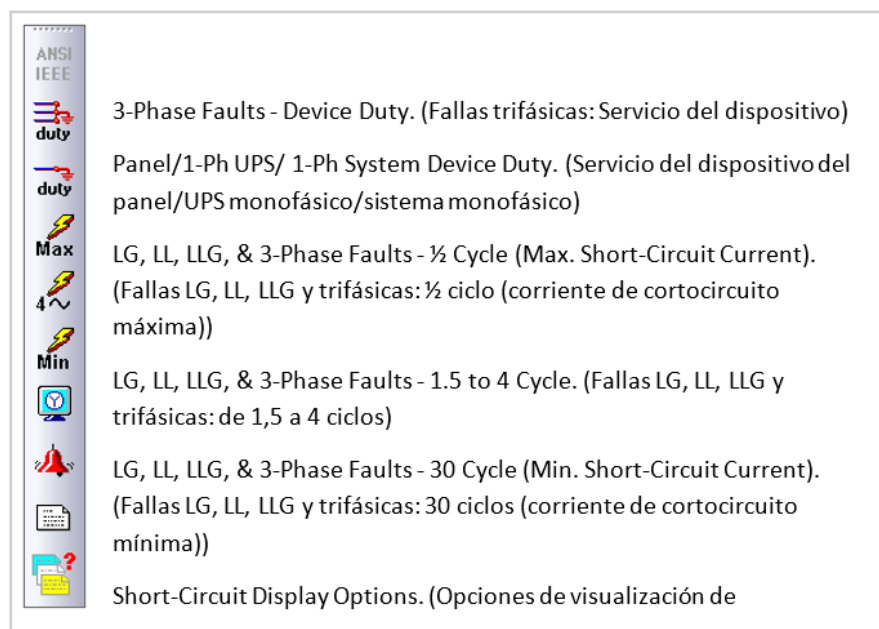


Figura 47. Barra de herramientas de cortocircuito ANSI.

- **Fallas trifásicas - Servicio del dispositivo:** Realiza estudios de falla trifásica para calcular corrientes de cortocircuito (simétrica, asimétrica, y pico) en barras con falla. Además, compara las capacidades de cierre, interrupción y ajuste de dispositivos protectores con las corrientes calculadas.
- **Capacidad del dispositivo en sistemas monofásicos:** Evalúa sistemas por debajo de paneles principales, UPS monofásicos y adaptadores de fase. Calcula corrientes de cortocircuito en redes monofásicas y trifásicas utilizando capacidades de dispositivos protectores.
- **Fallas LG, LL, LLG y trifásicas - 1/2 ciclo (máxima corriente):** Calcula las corrientes máximas de cortocircuito en valores rms en el primer 1/2 ciclo. Considera las reactancias subtransitorias de secuencias positiva, negativa y cero de generadores y motores, junto con los tipos de conexión y puesta a tierra.
- **Fallas LG, LL, LLG y trifásicas - 1.5 a 4 ciclos:** Calcula corrientes rms entre 1.5 y 4 ciclos. Los generadores se modelan con reactancia subtransitoria, y los motores

con reactancia transitoria. Considera la configuración del sistema y ajustes de impedancia para maximizar las corrientes.

- Fallas LG, LL, LLG y trifásicas - 30 ciclos (mínima corriente): Calcula las corrientes mínimas de cortocircuito en valores rms a 30 ciclos. Ignora la contribución de motores y considera ajustes positivos de impedancia y temperatura para minimizar las corrientes.

3.7.3 Estudio de cortocircuito ANSI y verificación del equipamiento con el software ETAP

Para realizar un estudio de cortocircuito bajo la norma ANSI, es fundamental asegurarse de que todos los elementos del sistema estén configurados conforme a dicha norma. Si algún elemento no cumple con esta configuración, no se obtendrán resultados válidos en el modelado. Las configuraciones más relevantes incluyen:

The screenshot shows the 'Short Circuit Study Case' dialog box with the 'Standard' tab selected. The settings are as follows:

- Standard:** ☒ ANSI, ☐ IEC, ☐ GOST
- Prefault Voltage:** ☒ Fixed (100), ☐ Nominal kV, ☐ Base kV, ☐ Vmag X Nominal kV (from Bus Editor)
- HV CB Interrupting Capability:** ☒ Nominal kV, ☐ Nominal kV & Vf
- Zero Sequence Z:** ☐ Include Branch Y
- Machine X/R:** ☒ Fixed, ☐ Variable
- LV CB Interrupting Capability:** ☒ C37.13 / UL 489, ☐ User-Defined
- Prefault Generation Category:** Design (dropdown), ☐ Operating P.Q.V
- WTG/Inverter Control Adjustment Angle:** ☐
- Device Duty Based on:** ☒ Total Bus Fault Current, ☐ Max Through Fault Current
- MF for HV CB & Bus Momentary Duty:** ☒ Based on Calculated X/R, ☐ Use 1.6 & 2.6 (RMS & Peak) as Minimum, ☐ Set to 1.6 & 2.6 (RMS & Peak)
- MF for LV CB (Molded & Insulated) Duty:** ☐ Based on Peak Current, ☒ Based on Asymmetrical Current, ☐ Higher MF (Peak or Asymmetrical)
- Standards:** ☒ C37.010 - 1999, ☐ C37.010 - 1979 and Older

At the bottom, there is a dropdown menu set to 'SC' and buttons for '<', '>', 'Copy', 'New', 'Delete', 'Help', 'OK', and 'Cancel'.

Figura 48. Parametrización de estudio de cortocircuito ANSI.

• Prefault Voltage - ANSI standard:

Fixed prefault voltage: Define un voltaje prefault fijo para todas las barras basado en el kV nominal o base, calculado usando relaciones de transformador desde una máquina swing.

Variable prefault voltage: Permite usar voltajes de prefault definidos en el Bus Editor, ideal para estudiar condiciones reales con análisis de flujo de carga.

- **HVCB Interrupting Capability (capacidad de interrupción de alta tensión):**

Nominal kV: Usa el kV nominal de la barra conectada al interruptor como voltaje operativo.

Nominal kV & Vf: Calcula el voltaje operativo como el producto entre el voltaje prefault y el kV nominal.

- **Prefault Loading Conditions:** Permite definir categorías de generación para modelar fuentes constantes de corriente como inversores, turbinas eólicas y sistemas fotovoltaicos (PV).

3.8 Módulo VIII: Estudio de armónicos en ETAP

3.8.1 Fundamentos técnicos

El módulo ETAP de Análisis de Armónicos puede simular corrientes y fuentes de tensión armónicas, identificar problemas de armónicos, reducir picos, así como diseñar y probar filtros de armónicos.

Debido a la amplia y creciente gama de dispositivos en los sistemas de potencia, tales como variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida, convertidores estáticos de potencia, inversores, etc., la calidad de la tensión y de la corriente puede peligrar. Así es como se pueden encontrar armónicos, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema.

Otros dispositivos tales transformadores saturados, hornos de arco, luces fluorescentes y ciclo convertidores pueden también afectar a la calidad de la energía.



Figura 49. Análisis de Armónicos.

Características principales:

- Tensión de armónicos y evaluación de la distorsión de corriente.
- Muestreo de frecuencias armónicas.
- Diseño y ajuste de filtros.
- Modelos de filtros de orden no-entero (inter-harmonic).
- Verificación automática de los límites de distorsión armónica.

Los cálculos exhaustivos de flujo de carga y de exploración de frecuencia se realizan utilizando modelos de fuente de armónicos detallados y modelos de frecuencia de componentes del sistema de potencia.

Los resultados se muestran gráficamente, incluyendo el orden armónico, las gráficas del espectro armónico y los diagramas de forma de onda armónica.

Data e información requerida

Esquema unifilar actualizado:

- Configuración completa del sistema.
- Ubicación de generadores, transformadores, cargas y equipos de compensación.

Características de la red:

- Tensiones nominales (primarias y secundarias de transformadores, barras, etc.).
- Frecuencia nominal (50 Hz o 60 Hz, según el estándar del sistema).
- Conexión del sistema a la red externa (si aplica).

Datos de componentes eléctricos

Generadores:

- Potencia nominal (kW o MVA).
- Impedancia del generador ($X'd$, $X''d$, R , etc.).

- Datos de la excitación y reguladores (si son relevantes para armónicos).

Transformadores:

- Potencia nominal (MVA).
- Relaciones de transformación.
- Conexión de devanados (estrella, delta, zig-zag).
- Impedancias (R, X).
- Puntos de aterrizamiento o neutros (si están conectados).

Cables y líneas:

- Longitud y tipo de conductor.
- Impedancia serie y capacitancia.
- Esquema de instalación (enterrado, aéreo, etc.).

Cargas:

- Tipo de carga (resistiva, inductiva, capacitiva, no lineal).
- Potencias nominales (kW, kVA, o kVAR).
- Espectro armónico generado por cargas no lineales.

Equipos electrónicos y convertidores:

- Variadores de frecuencia.
- Rectificadores.
- UPS.
- Inversores.

Fuentes de armónicos

Cargas no lineales:

- Corriente armónica generada (espectro armónico: porcentaje de distorsión en cada orden).
- Nivel de distorsión armónica total (THD).

Equipo de compensación:

- Bancos de capacitores: ubicación, tamaño y configuración.
- Filtros armónicos: tipo (pasivo, activo) y características.
- Condiciones del sistema.

Condiciones operativas:

- Escenarios de carga: Mínima, máxima y típicas.
- Configuración de la red: Operación normal o en emergencia.

Puntos críticos para el análisis:

- Localización de equipos sensibles a armónicos.
- Puntos con alta concentración de cargas no lineales.

Normativa y estándares internacionales IEEE 519

- ANSI/IEEE 399.
- IEEE 141.
- IEEE 519-2014 - MV/HV/EHV.
- IEC 61000-3-14 LV.
- IEC 61000-3-6.

Simulación y modelado: Análisis de flujo de carga de armónicos

Con ETAP Armónicos puede simular fuentes de armónicos, con su correspondiente intensidad y tensión, identificar problemas de armónicos, minimizar disparos, diseñar y probar filtros, así como reportar los límites de armónicos del sistema. Puede realizar análisis completos

de flujo de carga y frecuencias mediante detallados modelos de fuentes y de componentes. Los resultados se muestran gráficamente, incluyendo orden de armónicos, espectros y formas de onda.

- Considera tanto las características de la fuente como los ángulos de fase.
- Permite modelar hasta 73 armónicos.
- Resistencia de cables variable con la temperatura.
- Ajuste automático de impedancia de equipos a la frecuencia armónica.
- Incluye transformadores de desplazamiento de fase.
- Modelos de filtros de paso bajo, paso alto y de paso banda.
- Crea filtro para cambiar los puntos de resonancia a frecuencias menos nocivas.
- Identifica los problemas de distorsión armónica (incluyendo THD e IHD).
- Analiza la resonancia en paralelo.
- Gráfico de formas de onda versus tiempo/de espectro de frecuencias.
- Evaluación de rendimiento de los filtros de armónicos.

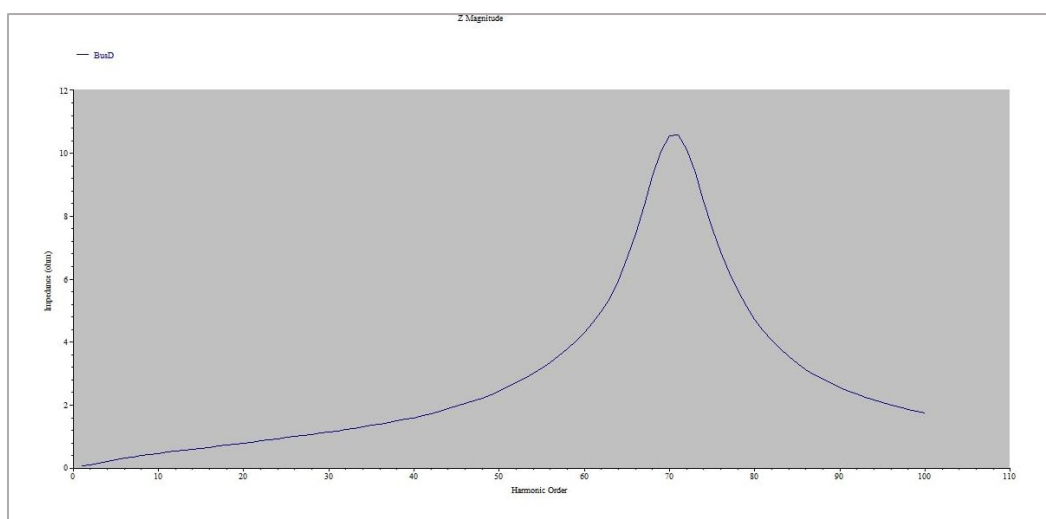


Figura 50. Grafica de impedancia vs orden de Armónicos.

El gráfico anterior muestra un pico de resonancia armónica en el orden 70, lo cual indica la presencia de una condición de resonancia en el sistema. Este fenómeno puede generar

distorsiones en las señales eléctricas, lo que podría afectar la estabilidad y el rendimiento del sistema. Es crucial realizar un análisis detallado de esta resonancia para identificar sus causas y tomar las medidas adecuadas para mitigar sus efectos, garantizando así un funcionamiento eficiente y seguro del sistema eléctrico en su totalidad.

3.8.2 Herramientas y funciones del software ETAP

Estudio de frecuencias

Los componentes capacitivos e inductivos de un sistema pueden generar resonancia en algunas barras bajo determinadas frecuencias. Si la resonancia se produce en una barra donde se inyecta una corriente armónica, se producirá sobretensión.

El gráfico siguiente muestra la comparación de dos formas de onda de voltaje en función del tiempo (en ciclos), correspondientes a "Bus 1" y "Sub-3". Se observa que la señal en "Bus 1" (curva azul) presenta una mayor distorsión armónica con fluctuaciones irregulares, mientras que la señal en "Sub-3" (curva verde) exhibe una forma más suavizada, pero con una ligera deformación.

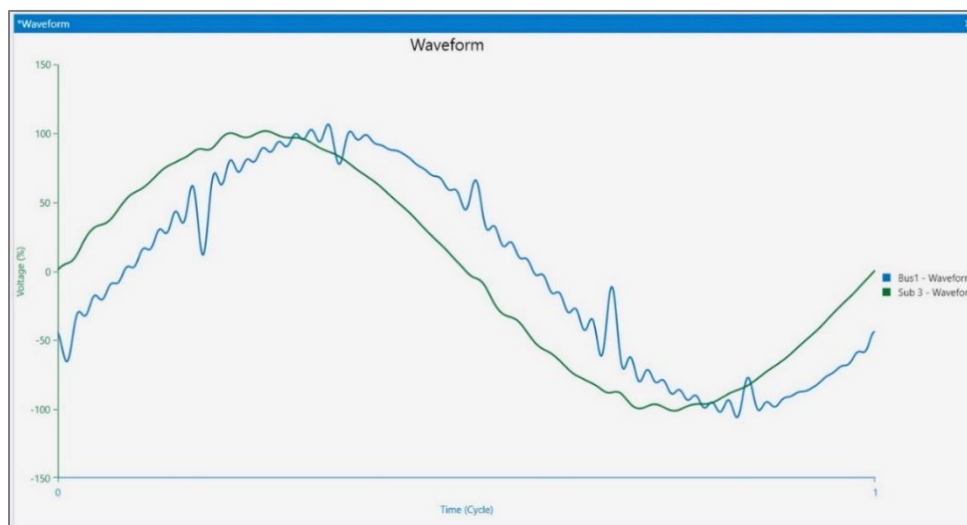


Figura 51. Gráfico de frecuencia voltaje /tiempo.

Este módulo es una gran herramienta para este tipo de problemas, ya que calcula y grafica las magnitudes y ángulos de fase de la impedancia vista desde la barra para un rango de frecuencias definido por el usuario. Así, puede detectar cualquier resonancia en paralelo y su frecuencia. Además, el usuario puede ajustar los parámetros de los filtros armónicos y verificar los resultados.

El rango de frecuencias del estudio lo define el usuario. Utilizando la frecuencia de red inicial y pudiendo también analizar el impacto de frecuencias armónicas relacionadas.

Filtros de armónicos

Los filtros de armónicos se emplean frecuentemente, para mitigar los problemas de armónicos. Un filtro de armónicos bien diseñado puede evitar la inyección de corriente de armónicos, o puede proporcionar una baja impedancia para eliminar una resonancia en paralelo a la frecuencia sintonizada.

El editor de filtros permite elegir de entre todas las estructuras de filtros.

- Diseño y dimensionado de filtros de armónicos.
- Filtros de paso bajo, de paso alto y de paso de banda.
- Dimensionamiento basado en la corrección del factor de potencia, en el mínimo coste, o en objetivos mínimos de operación.
- Verificación y alerta automática de sobrecargas de filtros.

Figura 52. Parametrización de estudio de Armónicos.

Tipos de filtros incorporados

- De paso: Según frecuencia característica.
- De paso alto amortiguado: Con frecuencia característica amortiguada.
- De paso alto no amortiguado: Con frecuencia característica no amortiguada.
- Sintonizador simple: Sintonizado con un punto de frecuencia.
- 3er Orden amortiguado: Filtro especial de paso alto amortiguado donde la inductancia es remplazada por un circuito LC para garantía ninguna pérdida a la frecuencia fundamental y evitando, por consiguiente, resonancia en paralelo.
- 3er Orden Tipo C: Como el tipo anterior, pero sin amortiguar.

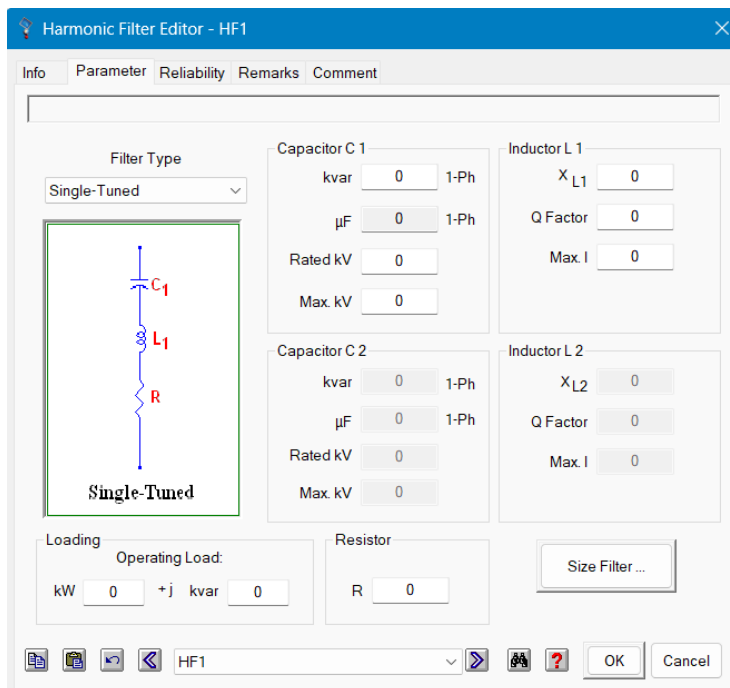


Figura 53. Editor filtro de Armónicos.

3.8.3 Estudio de armónicos con software ETAP

- Capacidades generales.
- Ajuste por temperatura de resistencia de cables / líneas.
- Filtros de sintonización única, paso alto y paso banda.

- Diseño de filtros para ajuste de resonancia a niveles de frecuencia seguros.
- Aplicación de modelos que contemplan hasta la componente armónica 73.
- Librería de fuentes armónicas ampliable por el usuario.
- Identificación de las condiciones de resonancia.
- Modelado de los inversores de paneles solares.
- Método de inyección de corriente armónica para el dimensionado de cables.

3.8.4 Análisis de los resultados y reportes

El análisis de los resultados y la generación de reportes en un estudio de armónicos en ETAP es un paso crucial para interpretar los datos obtenidos y desarrollar estrategias para mitigar los problemas detectados.

- Perfil de distorsión armónica

THD de voltaje (THD_V):

- Evalúa el porcentaje de distorsión en cada barra del sistema.
- Identifica barras con valores superiores a los límites establecidos (por ejemplo, 3% en sistemas de alta tensión o 5% en sistemas de baja tensión, según IEEE 519).

THD de corriente (THD_I):

- Revisa los niveles de distorsión de corriente generados por cargas no lineales.
- Analiza los valores en transformadores, líneas y cargas principales.

Espectro armónico:

- Identifica los órdenes de armónicos dominantes (por ejemplo, 3°, 5°, 7°, etc.).
- Determina si estos coinciden con frecuencias de resonancia en el sistema.

Análisis de resonancia

- Resonancia serie: Puede provocar altas corrientes armónicas en componentes específicos.
- Resonancia paralela: Genera sobretensiones en ciertas barras, afectando la vida útil de los equipos.

Evaluación de los filtros armónicos

- Verifica el desempeño de filtros existentes o simulados.
- Evalúa si los filtros reducen adecuadamente los armónicos dominantes.
- Analiza si los filtros pueden provocar nuevas resonancias.

CAPITULO IV: PRÁCTICAS DE LABORATORIO

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: SISTEMAS DE POTENCIA I	PRACTICA N°1
	TEMA: ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL.

1. Realizar una simulación en el software ETAP para el análisis detallado de flujos de potencia en sistemas eléctricos, con el propósito de evaluar el comportamiento de los sistemas de potencia.

2.0 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Analizar y comprender la importancia de los métodos iterativos para resolver el flujo de bloques de potencia.
2. Aprender a diseñar y simular un sistema eléctrico de potencia utilizando el simulador ETAP versión 22.5.
3. Identificar las diferentes barras que posee el software de simulación ETAP 22.5.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO.

1. Computadora o laptop.
2. Software ETAP versión 22.5.

4.0 INTRODUCCION TEORICA.

- ETAP es una herramienta de software de simulación y análisis de sistemas de energía eléctrica ampliamente utilizada en la industria eléctrica y en la ingeniería de potencia.
- Este software permite a los ingenieros modelar, simular, analizar y optimizar sistemas eléctricos complejos para garantizar su confiabilidad, eficiencia y seguridad operativa brindando solución integral que abarca desde el diseño inicial hasta la operación y mantenimiento de sistemas de energía eléctrica.

En el campo de la ingeniería eléctrica, la simulación y análisis de sistemas de potencia son fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable de las redes eléctricas. El uso de herramientas de software especializadas, como el programa ETAP (Electrical Transient

Analyzer Program), facilita la modelización y estudio detallado de sistemas eléctricos complejos en tiempo real.

En esta guía de laboratorio, nos adentraremos en la simulación de sistemas de potencia utilizando ETAP como herramienta principal. Se explorarán conceptos clave del análisis de flujo de carga, como la clasificación y configuración de barras colectoras, junto con la aplicación de métodos numéricos para la solución de sistemas eléctricos.

Barras Colectoras en ETAP

Las barras colectoras representan puntos de conexión centrales en el sistema eléctrico, a los cuales se enlazan múltiples equipos. En ETAP, estas barras se configuran con atributos específicos como:

- **Tensión nominal:** Define el nivel de tensión operativa.
- **Capacidad máxima de corriente:** Determina el límite admisible basado en el diseño físico.
- **Tipo de barra:** Puede ser de alta, media o baja tensión.

Dependiendo de su función en el sistema, las barras colectoras se clasifican en:

- **Barras PQ (Carga o Generación):** Se definen la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q), mientras que ETAP calcula el voltaje y el ángulo de fase. Son utilizadas para modelar puntos de carga o generadores que operan con valores fijos de potencia.
- **Barras PV (Generación con Regulación de Voltaje):** Se establece la potencia activa (P) y la magnitud del voltaje (V), permitiendo que ETAP calcule la potencia reactiva (Q) y el ángulo de fase. Estas barras representan generadores con sistemas de regulación de voltaje.
- **Barras Slack o de Referencia:** Se emplean como referencia para resolver el análisis de flujo de carga, determinando la potencia activa (P) y reactiva (Q) necesarias para equilibrar el sistema. Generalmente representan una planta generadora principal o una conexión a la red.

METODOS PARA ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA

El Método de Gauss-Seidel es un método iterativo que tiende a converger de manera más lenta en comparación con el Método de Newton-Raphson. Puede requerir un mayor número de iteraciones para alcanzar la convergencia, especialmente en sistemas con condiciones iniciales lejanas de la solución.

El Método de Newton-Raphson suele converger más rápidamente que el método de Gauss Seidel, lo que lo hace adecuado para sistemas grandes y complejos donde se requiere una convergencia rápida y eficiente.

En versiones anteriores de ETAP, como la versión 19.0, se contaba con la posibilidad de simular flujos de potencia utilizando el Método de Gauss-Seidel, actualmente solo se trabaja con el método de Newton Raphson y otros métodos, aunque son distintas formas de obtener un análisis de flujo de potencia se puede llegar a similares resultados.

5.0 PROCEDIMIENTO.

Pasos para crear un circuito en ETAP

1. Abrir el programa ETAP.
2. Clic en crear nuevo proyecto.

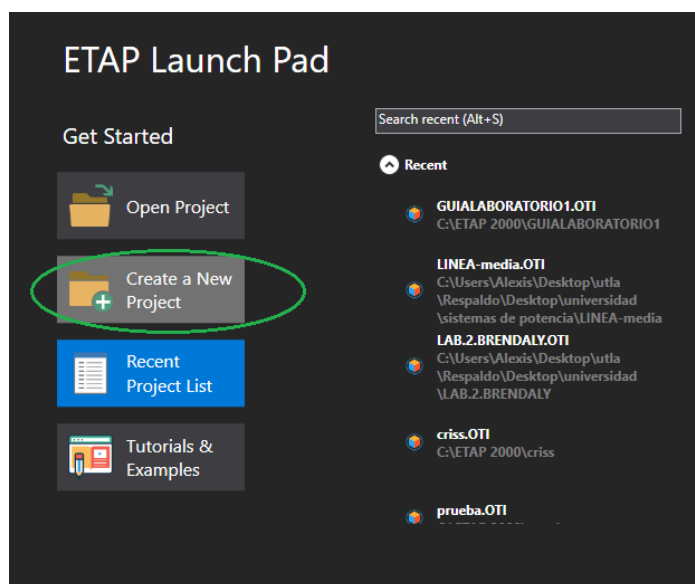


Figura 54. Creación de nuevo proyecto.

3. Colocar nombre al nuevo proyecto en la ventana que aparece y escoger el sistema de unidades a 60 Hz y dar clic en ok.

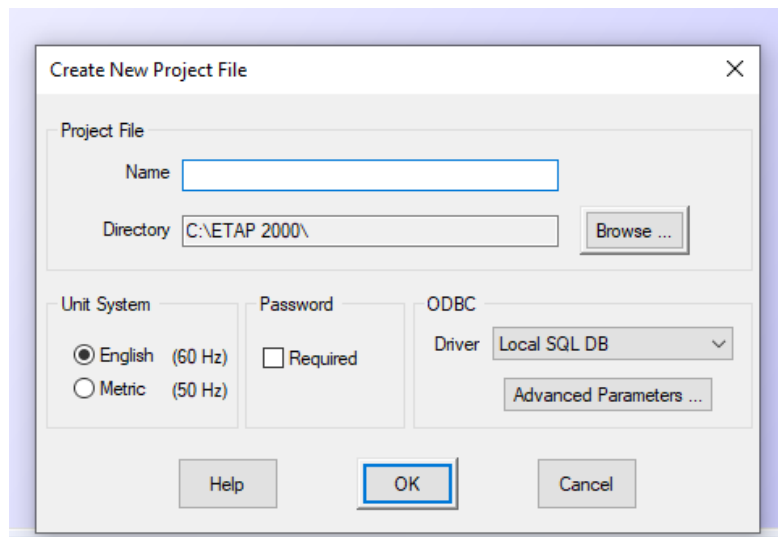


Figura 55. Pantalla de creación de un nuevo proyecto en ETAP.

4. Colocar el nombre de usuario y dar ok.

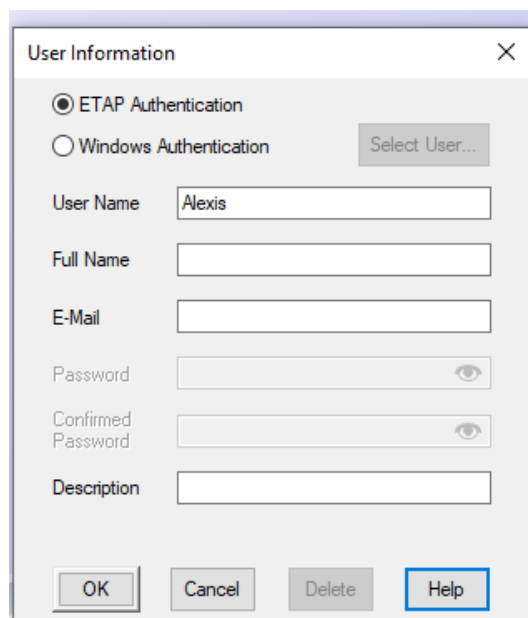


Figura 56. Pantalla usuario para proyecto ETAP.

1. BARRA DE HERRAMIENTAS DE MODO SIMULACIÓN

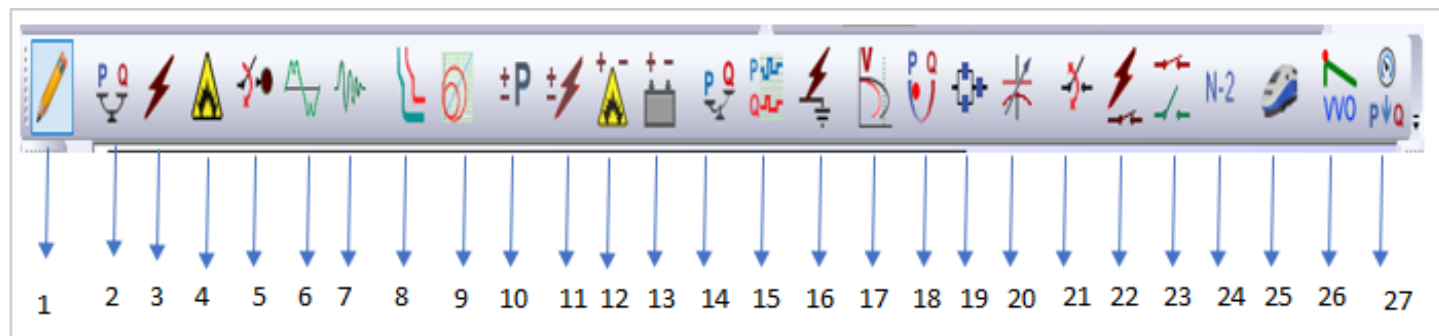


Figura 57. Barra de herramientas de modo simulación

Descripción de iconos

- | | |
|--|---|
| 1. Editar | 15. Flujo de carga del dominio de tiempo |
| 2. Simulación de Flujo de carga | 16. Cortocircuito desequilibrado |
| 3. Cortocircuito | 17. Estabilidad de voltaje |
| 4. Arco modo flash | 18. Flujo de potencia optimo |
| 5. Simulación de Aceleración del motor | 19. Evaluación de confiabilidad |
| 6. Simulación de Armónicos | 20. Condición optima de condensadores |
| 7. Simulación de Estabilidad transitoria | 21. Optimización de conmutación |
| 8. Protección y coordinación | 22. FMRS |
| 9. Interruptor de protección y coordinación | 23. Gestión de secuencia de conmutación |
| 10. Flujo de carga DC | 24. Contingencia |
| 11. Cortocircuito DC | 25. Análisis de xTrax |
| 12. Arco flash DC | 26. Cambia la presentación al modo Volt-VAR |
| 13. Dimensionamiento de descarga de la batería | 27. Asignación de carga |
| 14. Flujo de carga desequilibrado | |

Cada uno de los modos de simulación antes mencionados tiene su respectiva barra de análisis con opciones comunes.

2. BARRA DE HERRAMIENTA DE ANALISIS LOAD FLOW

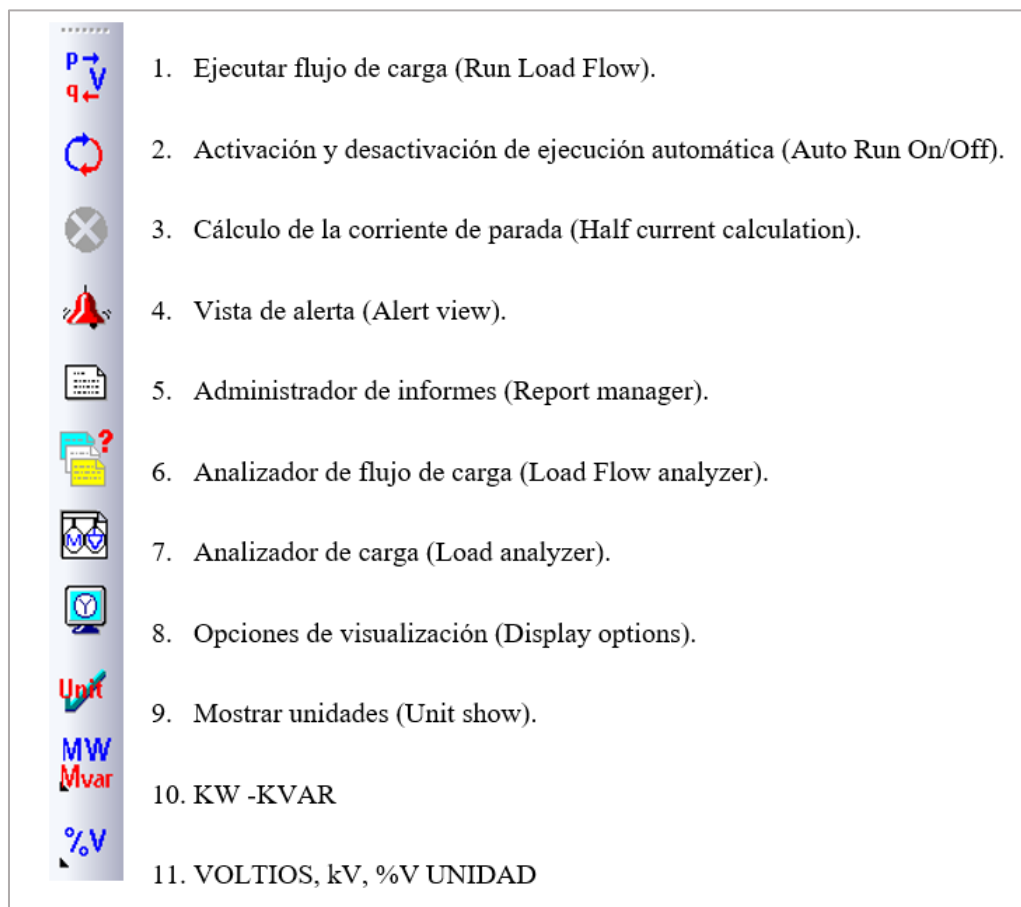


Figura 58. Barra de herramientas Load Flow.

3. COMPONENTES DEL DIAGRAMA UNIFILAR

El diagrama unifilar en ETAP es una representación gráfica del sistema eléctrico, donde los componentes y sus interconexiones se visualizan en un solo plano.

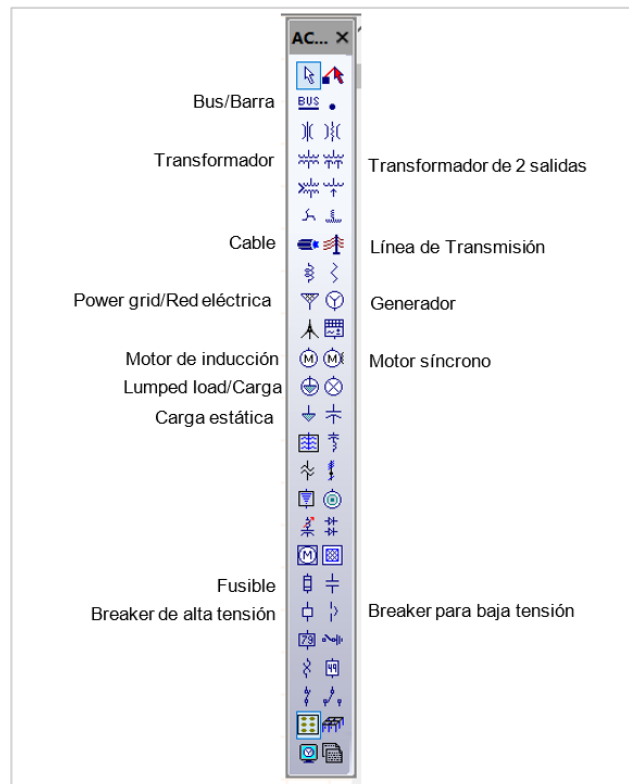


Figura 59. Componentes básicos para crear diagramas unifilares en ETAP.

4. DISEÑO DEL CIRCUITO

- Diseñe el siguiente circuito con sus respectivos parámetros:

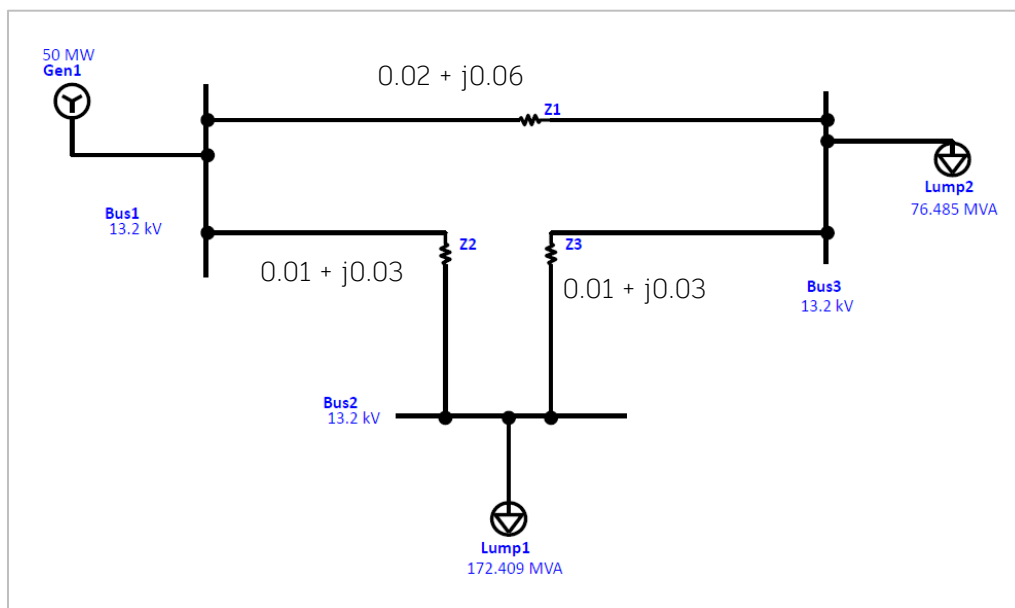


Figura 60. Diagrama unifilar practica Gauss Seidel.

Datos:**Buses**

BUS	Tipo	kV Nominales	%V	Angulo
1	Slack	13.2	103	0
2	PQ	13.2	100	-
3	PV	13.2	100	-

Tabla 5. Datos de buses para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.

Generador:

BUS	ID	Modo de operación	kV Nominales	%V	Angulo	MW	%PF
1	Gen1	Swing	1.03	103	0	-	85

Tabla 6. Datos de generador para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.

Cargas:

BUS	ID	kV Nominales	MW	MVAR	LOAD TIPE
2	Lump1	13.2	150	85	100%
3	Lump 2	13.2	75	15	100%

Tabla 7. Datos de cargas para circuito Gauss Seidel-Newton Raphson.

Líneas de transmisión:

BUS	ID	%R	%X	%Y	Base kV	Base MVA
1-3	Z1	2	6	0	13.2	100
1-2	Z2	1	3	0	13.2	100
2-3	Z3	1	3	0	13.2	100

Tabla 8. Datos de líneas de transmisión para circuito GS-Newton Raphson.

Pasos para insertar los buses y colocar los parámetros

- Seleccionar el bus y dar doble clic.
- Colocar valor nominal KV.
- Colocar los voltajes iniciales y luego dar ok.

Bus Editor - Bus1

Harmonic	Reliability	Remarks	Comment
Info	Phase V	Loac	Motor/Gen
Rating	Arc Flash	Protection	

1 kV 0 Amps Symmetrical 0 kA

Info

ID: Bus1

Nominal kV: 1

Bus Voltage

	% V	kV	Angle
Initial	103	1.03	0
Operating	0	0	0

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

Priority: Critical

Classification

Zone: 1

Area: 1

Region: 1

Revision Data

Base

Condition

Service: ☒ In ☐ Out

State: As-Built

Connection

☒ 3 Phase ☐ 1 Phase 2W ☐ 1 Phase 3W

Load Diversity Factor

Min. 80 % Max. 125 %

Voltage Limit

Min. 90 % Duration 0 Cycle

OK Cancel

Figura 61. Barra de herramientas Load Flow.

1. Pasos para configurar un generador

- Seleccionar el generador del cuadro de herramientas.
- Configurar en Operation Mode si es un bus Slack seleccionar “Swing”, si es bus PV o PQ se selecciona “Voltaje Control”.
- Luego seleccionar Rating y se abrirá la siguiente ventana.
- Colocar los valores MW, Kv y valores de funcionamiento y luego dar ok.

Figure 62 shows two screenshots of the generator configuration window. The left screenshot displays the 'Info' tab with fields for ID (Gen1), Bus (Bus1), and kV (1 kV). The right screenshot displays the 'Rating' tab with fields for MW (10), kV (1.03), % PF (85), MVA (11.765), % Eff. (95), Poles (4), and a table for Gen. Category. The 'Operation Mode' section has 'Swing' selected. The 'Prime Mover Rating' section shows 'Continuous' and 'Peak' values. The 'Operating Values' section shows % V (103) and Angle (0).

Figura 62. Configuración de parámetros de generador.

2. Pasos para ingresar los parámetros de la carga

- Seleccionar la carga de la barra de herramientas.
- Dar clic en Nameplate y colocar los valores de la carga MV, MVAR, luego dar ok.

Figure 63 shows the 'Lumped Load Editor - Lump1' window. The 'Nameplate' tab is selected, showing fields for MVA (172.409), kV (1.025), MW (150), Mvar (85), % PF (87), and Amp (97113). The 'Load Type' section shows 'Constant kVA' and 'Constant Z' options.

Figura 63. Configuración de parámetros para la carga.

3. Pasos para ingresar un transformador

- Seleccionar el transformador de la barra de herramienta y dar doble clic.
- Ingresar la clasificación de voltajes, potencia y colocar le voltaje base.
- Seleccionar impedancias y colocar los valores respectivos luego dar ok.

The figure consists of two side-by-side screenshots of a transformer configuration software interface. The left screenshot shows the 'Rating' tab, which includes fields for Voltage Rating (Primary: 345 kV, Secondary: 15 kV), Power Rating (Rated: 400 MVA, Derated: 400 MVA), and Z Base (400 MVA). The right screenshot shows the 'Impedance' tab, which includes fields for %Z (2.006), X/R (13.333), R/X (0.075), %X (2), and %R (0.15). Both screenshots have the 'OK' button circled in blue.

Figura 64. Configuración de parámetros del transformador.

4. Pasos para ingresar línea de transmisión.

- Seleccione la impedancia, luego dirigirse a Rating y colocar los valores de base de voltaje y los valores de impedancia que deben ir en porcentaje.

The figure shows a screenshot of the 'Rating' tab in the software interface. It includes the 'Model' section with 'Balanced' selected, and the 'Impedance' section with fields for R, X, and Y. The 'Rating' section has fields for kV (345), Amps (0), and MVA (0). The 'Impedance' section has fields for Pos. (0.45, 5, 88) and Zero (0.45, 5, 88).

Figura 65. Configuración de parámetros para impedancias.

Una vez completado el diagrama con todos los parámetros previamente especificados, el siguiente paso es proceder con la simulación del sistema:

- Dando clic en Flujo de carga (Load Flow) de la Barra de herramientas de los modos de simulación.

- Accedemos a Load Flow Study Case Editor dando clic en el siguiente icono:

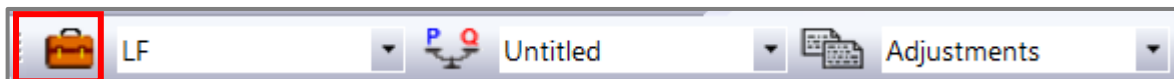


Figura 66. Barra de herramientas Load Flow Study case.

- Se abrirá la siguiente ventana en la cual, en la pestaña “Info”, “Method”, se elegirá “Newton-Raphson”, con un Máximo de 2 iteraciones y con una precisión de 0.01, y damos clic en OK.

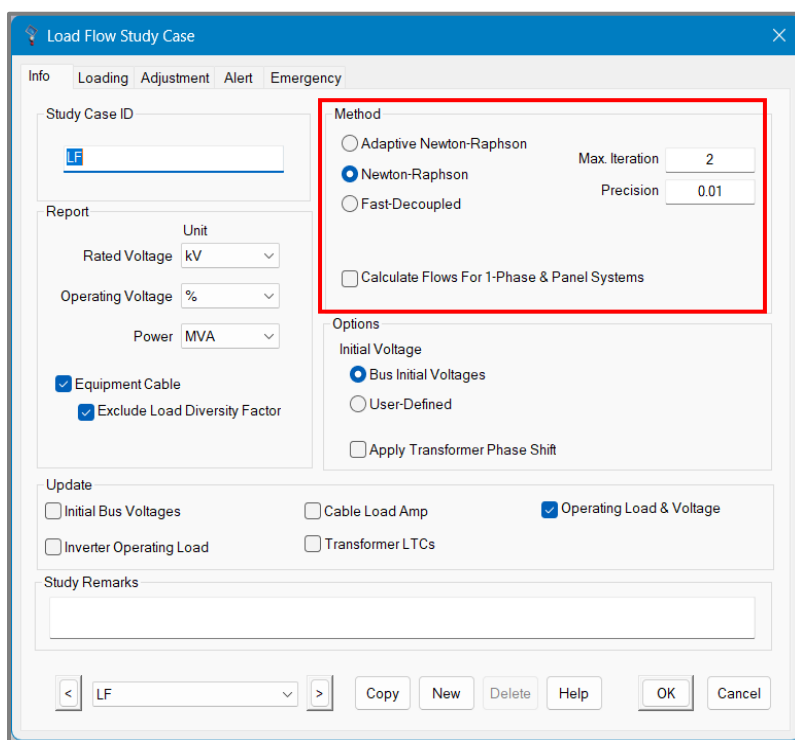


Figura 67. Configuración en Load Flow Study Case Editor.

5.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO.

- Luego de establecer todos los parámetros correctamente ejecute el Flujo de Carga (Run Load Flow) de la barra de herramientas, observa los resultados y complete lo siguiente:

Bus 1: _____ MW _____ Mvar

Bus 2: _____ % Angulo _____

Bus 3: _____ % Angulo _____

_____ MW _____ Mvar

- Haciendo uso de Opciones de visualización (Display options), establezca parámetros (Branch losses) para ver las perdidas en las líneas de transmisión y complete:

Z1: _____ MW _____ Mvar

Z2: _____ MW _____ Mvar

Z3: _____ MW _____ Mvar

- Modifique la carga del bus 2 a valores de 250 MW, 500 Mvar y anote los resultados:

Bus 2: _____ % Angulo _____

Bus 3: _____ % Angulo _____

- Analice las siguientes preguntas y responda:

Mencione algunas acciones que podrían tomarse para corregir los problemas de voltaje en este sistema:

¿Qué significa que una barra trabaje al 103% o 99.2% del valor nominal? Relacione estos resultados con la estabilidad del sistema.

¿Explique qué es una barra PQ?

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: LINEAS DE TRANSMISION	PRACTICA N°2
	TEMA: PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL

- Comprender y analizar los parámetros eléctricos de líneas de transmisión (resistencia, reactancia, capacitancia) utilizando el software ETAP, y evaluar su influencia en el desempeño de sistemas eléctricos.

2.0 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Construir modelos de líneas de transmisión en ETAP, variando parámetros geométricos (longitud, calibre, espaciamiento de conductores) y materiales (cobre, aluminio).
- Simular el comportamiento de líneas de transmisión bajo diversas condiciones de operación.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO

- Centro de cómputo.
- Guía práctica.
- Software ETAP versión 22.5.

4.0 INTRODUCCION TEORICA

Las líneas de transmisión son elementos fundamentales en los sistemas eléctricos, encargadas de transportar la energía desde las centrales generadoras hasta los centros de consumo. Su diseño y operación eficiente son cruciales para garantizar un suministro eléctrico confiable y de calidad.

Los parámetros eléctricos de las líneas de transmisión (resistencia, reactancia, capacitancia) son fundamentales para comprender y analizar el comportamiento de los sistemas

eléctricos. Estos parámetros influyen en la caída de tensión, las pérdidas de potencia, la estabilidad y otros aspectos críticos del sistema. En esta práctica de laboratorio, utilizaremos el software ETAP para estudiar en detalle estos parámetros, aprenderemos a calcularlos y analizaremos su impacto en el desempeño de sistemas eléctricos.

Parámetros eléctricos de líneas de transmisión:

Resistencia (R): Es la oposición al flujo de corriente eléctrica en la línea, causada por la resistividad del material conductor.

Unidad: Ohmios por unidad de longitud (Ω/km o Ω/m).

Factores que influyen: Material del conductor, sección transversal, temperatura.

Efecto: La resistencia causa pérdidas de potencia en la línea en forma de calor (pérdidas por efecto Joule).

Reactancia Inductiva (X): Es la oposición al cambio de corriente alterna en la línea, debido al campo magnético que se genera alrededor de los conductores.

Unidad: Ohmios por unidad de longitud (Ω/km o Ω/m).

Factores que influyen: Geometría de la línea (espaciamiento entre conductores, diámetro), permeabilidad magnética del medio.

Efecto: La reactancia inductiva causa una diferencia de fase entre la corriente y la tensión en la línea, lo que afecta el factor de potencia.

Capacitancia (C): Es la capacidad de la línea para almacenar carga eléctrica debido a la diferencia de potencial entre los conductores y tierra.

Unidad: Faradios por unidad de longitud (F/km o F/m).

Factores que influyen: Geometría de la línea (espaciamiento entre conductores, diámetro), permitividad del medio (aislamiento).

Efecto: La capacitancia causa una corriente de carga en la línea, que puede afectar el factor de potencia y la estabilidad del sistema.

Relación entre los Parámetros

Estos tres parámetros están interrelacionados y juntos definen la impedancia (Z) de la línea de transmisión:

$$Z = R + jX$$

Donde: Z es la impedancia compleja.

R es la resistencia.

X es la reactancia (que puede ser inductiva o capacitiva).

j es la unidad imaginaria.

5.0 PROCEDIMIENTO

Construir el siguiente circuito de flujo de potencia usando el software ETAP 22.5.

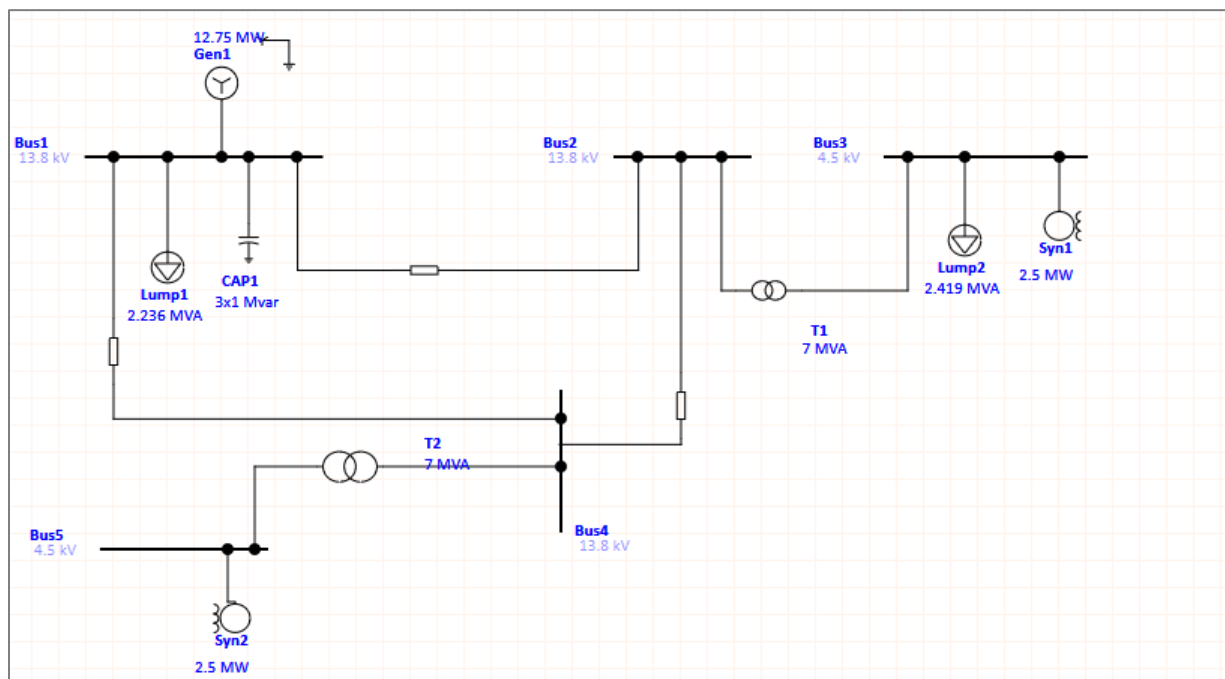


Figura 68. Diagrama unifilar para practica 2.

Ingresa los parámetros de cada elemento:

Synchronous Generator Editor - Gen1

Harmonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment

Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS

13.8 kV 12.75 MW Swing

Rating

MW 12.75 kV 13.8 % PF 85 MVA 15 % Eff. 95 Poles 4

% of Bus Nom. kV 100 FLA 627.6 RPM 1500

	Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					

Prime Mover Rating

Continuous HP 20115.3 MW 15 Peak HP 20115.3 MW 15

Mvar Limits

☐ Capability Curve ☒ User-Defined Peak Mvar 9.296

Operating Values

% V 100 Vangle 0 MW 9.49 Mvar 2.646

Gen1

Figura 69. Configuración del Generador eléctrico.

GENERADOR 1	PARAMETROS
MODO DE OPERACIÓN (INFO)	BALANCE DE POTENCA SLACK
NIVEL DE TENSION (RATING)	13.8KV
POTENCIA NOMINAL APARENTE (RATING)	15 MVA
FACTOR DE POTENCIA (RATING)	95%
NUMERO DE POLOS (RATING)	4
CURVA DE CAPACIDAD (CAPABILITY)	CALCULADA
IMPEDANCIA DATOS (IMP/MODEL)	DATOS TIPICOS
MODELO DINAMICO (IMP/MODEL)	EQUIVALENTE
CONEXIÓN (GROUNDING)	ESTRELLA, NEUTRO ATERRIZADO SOLIDO

Tabla 9. Parámetros para Generadores eléctricos.

- Ingresar parámetros de los buses:

BUS	KV NOMINALES	%V	ANGULO
1	13.8	100	0°
2	13.8	100	-
3	4.5	100	-
4	13.8	100	-
5	4.5	100	-

Tabla 10. Parámetros para Buses.

- Ingresar parámetros de líneas de transmisión.

Sag & Tension	Ampacity	Compensation	Reliability	Remarks	Comment	
Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Impedance	Protection
Southwire/M.LAYER		T1	25 °C	Code	2167 kcmil	
ACSR		60 Hz	T2	50 °C	Kiwi 72 Strands	
Impedance (per phase) R - T1 Pos. 0.03008 Neg. 0.03008 Zero 0.17168 X 0.26922 Y 4.38017						

Project Frequency

50 Hz

☒ Calculated

☐ User-Defined

Unit

☒ Ohms per 1 km

☐ Ohms

R, X, Y Matrices

☒ Phase Domain

☐ Sequence Domain

R

X

Y

Library Temperatures

Base T1

25 °C

Base T2

50 °C

Operating Temperatures

Minimum

75 °C

Maximum

75 °C

Figura 70. Configuración de una línea de transmisión de práctica 2.

LINEA 1	PARAMETRO
LONGITUD (INFO)	10 KM
TIPO DE CONDUCTOR DE FASE (PARAMETER)	SISTEMA INGLES, ACSR, M LAYER, KIWI, 2167, 72 HEBRAS
TIPO DE CONDUCTOR DE TIERRA	N/A
TIPO DE CONFIGURACION (CONFIGURATION)	HORIZONTAL, ALTURA (20 M), ESPACIADO (1 M)
TRANSPOSICION	N/A
IMPEDANCIA POR FASE (IMPEDANCE)	CALCULADA
UNIDADES (IMPEDANCE)	Ohm/km
MATRIZ RESISTENCIA REACTANCIA Y ADMITANCIA (IMPEDANCE)	DOMINIO DE FASE

Tabla 11. Parámetros para Línea de transmisión #1.

LINEA 2	PARAMETRO
LONGITUD (INFO)	20 KM
TIPO DE CONDUCTOR DE FASE (PARAMETER)	SISTEMA INGLES, ACSR, M LAYER, KIWI, 2167, 72 HEBRAS
TIPO DE CONDUCTOR DE TIERRA	N/A
TIPO DE CONFIGURACION (CONFIGURATION)	HORIZONTAL, ALTURA (20 M), ESPACIADO (1 M)
TRANSPOSICION	N/A
IMPEDANCIA POR FASE (IMPEDANCE)	CALCULADA
UNIDADES (IMPEDANCE)	Ohm/km
MATRIZ RESISTENCIA REACTANCIA Y ADMITANCIA (IMPEDANCE)	DOMINIO DE FASE

Tabla 12. Parámetros para Línea de transmisión #2.

LÍNEA 3	PARAMETROS
LONGITUD (INFO)	40 KM
TIPO DE CONDUCTOR DE FASE (PARAMETER)	SISTEMA INGLES, ACSR, M LAYER, KIWI, 2167, 72 HEBRAS
TIPO DE CONDUCTOR DE TIERRA	N/A
TIPO DE CONFIGURACION (CONFIGURATION)	HORIZONTAL, ALTURA (20 M), ESPACIADO (1 M)
TRANSPOSICION	N/A
IMPEDANCIA POR FASE (IMPEDANCE)	CALCULADA
UNIDADES (IMPEDANCE)	Ohm/km
MATRIZ RESISTENCIA REACTANCIA Y ADMITANCIA (IMPEDANCE)	DOMINIO DE FASE

Tabla 13. Parámetros para Línea de transmisión #3.

- Ingresar los parámetros de transformador

TRANSFORMADOR 1	PARAMETROS
ESTÁNDAR	IEC
VOLTAJE NOMINAL PRIMARIO	13.8 KV
VOLTAJE NOMINAL SECUNDARIO	4.5 KV
POTENCIA NOMINAL APARENTE	7 MVA
TIPO REFREIGERACION	LIQUIDA, ACEITE MINERAL, CLASE OMAN
ALTURA DE INSTALACION	1500 msnm, DERRATEO 9.6 %
TEMPERATURA DE INSTALACION	30°
IMPEDANCIA	TÍPICA Z & X/R
TAP	N/A
CONEXIÓN	DYn1, NEUTRO ATERRIZADO SOLIDO

Tabla 14. Parámetros para Transformador #1.

TRASNFOMADOR 2	
ESTÁNDAR (INFO)	IEC
VOLTAJE NOMINAL PRIMARIO (RATING)	13.8 KV
VOLTAJE NOMINAL SECUNDARIO (RATING)	4.5 KV
POTENCIA NOMINAL APARENTE(RATING)	7 MVA
TIPO REFRIGERACION (RATING)	LIQUIDA, ACEITE MINERAL, CLASE OMAN
ALTURA DE INSTALACION (RATING)	1250 msnm, DERRATEO 4.9 %
TEMPERATURA DE INSTALACION (RATING)	30°
IMPEDANCIA (IMPEDANCE)	TIPICA Z & X/R
TAP	N/A
CONEXIÓN (GROUNDING)	DYn1, NEUTRO ATERRIZADO SOLIDO

Tabla 15. Parámetros para Transformador #2.

- Ingresar los parámetros del motor:

MOTOR SINCRONO 1, 2	PARAMETROS
POTENCIA NOMINAL (NAMEPLATE)	2.5 MW
VOLTAJE NOMINAL(NAMEPLATE)	4.5 KV
NUMERO DE POLOS (NAMEPLATE)	4
VELOCIDAD NOMINAL (NAMEPLATE)	1500 RPM
IMPEDANCIA	POR DEFECTO
CONSTANTE INERCIA DE MOTOR (INERTIA)	3
CONSTANTE INERCIA DE ACOPLAMIENTO (INERTIA)	0
CONSTANTE DE INERCIA DE CARGA (INERTIA)	2
EXCITACIÓN (EXCITER)	INCORPORADA Y FIJA

Tabla 16. Parámetros para Motores.

Figura 71. Configuración de Motores sincrónicos.

- Ingresar los parámetros de las cargas:

CARGA 1	PARAMETROS
VOLTAJE NOMINAL	4.5 KV
POTENCIA ACTIVA	2.0 MW
POTENCIA REACTIVA	1 MVAR
CONEXION	ESTRELLA NEUTRO ATERRIZADO SOLIDO
CARGA 2	PARAMETROS
VOLTAJE NOMINAL	4.5 KV
POTENCIA ACTIVA	2.1 MW
POTENCIA REACTIVA	1.2 MVAR
CONEXIÓN	DELTA

Tabla 17. Parámetros para Cargas.

Figura 72. Configuración para una Carga.

- Ingresar parámetros de banco de condensadores:

BANCO 1	PARAMETROS
VOLTAJE NOMINAL	13.8 KV
POTENCIA REACTIVA POR BANCO	1 MVAR/BANK
NUMERO DE BANCOS	3
CONEXIÓN	ESTRELLA NEUTRO NO ATERRIZADO

Tabla 18. Parámetros para condensadores.

Capacitor Editor - CAP1

Info Rating Cable/Vd Cable Amp Reliability Remarks Comment

13.8 kV 3 x 1 Mvar Cable Info not available

Rating

kV Mvar / Bank # of Banks Mvar Amps

13.8 1 3 3 125.5

Max. kV

0

☐ Mvar ☒ Bank # x Mvar

microfarad Xc (ohms)

50.14 63.48

Grounding

Y

Figura 73. Configuración de capacitores.

6.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

Una vez completado el diagrama con todos los parámetros previamente especificados el siguiente paso es proceder con la simulación del sistema.

Acceder a Load Flow en la barra de herramienta de modo simulación.

1. ¿Qué componentes están presente en el sistema y que función tiene cada uno?

2. ¿Cuáles son las principales fuentes de perdidas en las líneas de transmisión?

3. Mencione y describa los tipos de líneas de transmisión que existen:

4. ¿Cual es el porcentaje de voltaje en cada bus?

Bus 1: _____ Bus 2: _____ Bus 3: _____

Bus4: _____ Bus 5: _____

5. ¿Qué modelo de línea se ha utilizado para representar las líneas de transmisión en la simulación (modelo corto, medio o largo)?

Z1: _____

Z2: _____

Z3: _____

6. ¿Desactive la barra 2 luego simule el flujo de potencia, que sucede con el motor 2?

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: SISTEMAS DE POTENCIA I	PRACTICA N°3
	TEMA: ANALISIS DE FALLAS	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL.

- 1.1 Realizar un análisis de fallas y evaluar la respuesta de los elementos de un sistema eléctrico ante distintos tipos de fallas.

2.0 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- 1.1 Configurar el software ETAP para simular escenarios de fallas eléctricas siguiendo las normas internacionales y los parámetros del sistema eléctrico.
- 1.2 Identificar los tipos de fallas que pueden ocurrir en un sistema eléctrico, como cortocircuitos monofásicos, bifásicos, trifásicos y fallas a tierra, y simularlos en el modelo unifilar del sistema.
- 1.3 Determinar las corrientes de falla en cada componente del sistema eléctrico y evaluar el impacto en los generadores, transformadores, líneas y barras principales.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO.

- 3.1 Computadora o laptop.
- 3.2 Software ETAP versión 22.5.

4.0 INTRODUCCION TEORICA.

En este laboratorio, exploraremos cómo ocurren las fallas en sistemas eléctricos y cómo afectan los niveles de corriente y voltaje en distintas partes de la red. Utilizaremos ETAP para simular fallas y evaluar sus efectos en los elementos de un sistema de potencia.

Los principales tipos de fallas que analizaremos son:

- Falla trifásica (3F): afecta las tres fases simultáneamente.
- Falla línea a tierra (LG): ocurre entre una fase y tierra.
- Falla línea a línea (LL): se produce entre dos fases.
- Falla línea-línea-tierra (LLG): afecta dos fases y tierra.

Cada tipo de falla tiene características distintas y produce diferentes niveles de corriente de cortocircuito, lo cual es fundamental para el diseño de sistemas de protección.

Las condiciones anormales de funcionamiento de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), se deben a fenómenos transitorios, que se pueden clasificar, según al tiempo de duración en las siguientes categorías:

Fenómenos transitorios ultrarrápidos: Corresponden sustancialmente a descargas atmosféricas sobre las líneas de transmisión y a los fenómenos producidos por operaciones de conexión y desconexión de diversos componentes de la red del SEP, tales como, las líneas. Las perturbaciones de este tipo dan origen a ondas de tensión y corriente que viajan prácticamente a la velocidad de la luz, pero su efecto dura unos pocos milisegundos después de iniciado. Sin embargo, los procesos de reflexión de las ondas producen elevadas tensiones que pueden llegar a destruir el equipo asociado a las líneas. La razón del estudio de estos fenómenos radica en el hecho de que su análisis suministra las bases necesarias para la selección adecuada del nivel de aislación de los equipos eléctricos asociados a las líneas y de las líneas mismas.

Fenómenos transitorios medianamente rápidos: En este grupo se incluyen los fenómenos causados por cambios abruptos de la estructura del SEP, o sea los cortocircuitos o líneas abiertas. Usualmente, sólo los 10 primeros ciclos son de importancia práctica y se estudian en el rango de 10 a 100 milisegundos siguientes a la falla.

Fenómenos transitorios lentos: Cuando ocurre un cortocircuito en una línea de transmisión importante y no se desconecta oportunamente la sección afectada, puede producirse uno de los fenómenos más peligrosos de un SEP, esto es, oscilaciones mecánicas de los rotores de los generadores. Se producen fenómenos transitorios electromecánicos que se estudian bajo

el nombre de estabilidad transitoria. Las oscilaciones mecánicas de los rotores son relativamente lentas, en consecuencia, los estudios de estabilidad transitoria se realizan en el rango de fracción de segundo hasta un minuto.

Debido a los fenómenos transitorios se pueden producir en un SEP, diversas alteraciones que reciben el nombre de fallas. Una falla en un circuito es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente. Sin embargo, dentro de este curso, designaremos como fallas a los cortocircuitos y las fases abiertas.

Tipos de fallas

Cortocircuitos: Trifásico simétrico, aislado o a tierra, bifásico aislado (cortocircuito entre 2 líneas), bifásico a tierra (entre dos líneas y el conjunto a tierra) y monofásico (una línea conectada a tierra).

Fases abiertas: Una fase abierta, dos fases abiertas y tres fases abiertas. La última situación significa que la línea o dispositivo sale completamente de servicio.

Los cortocircuitos trifásicos dan origen a fallas simétricas pues el SEP permanece eléctricamente balanceado, en cambio los cortocircuitos bifásicos aislado y a tierra y el monofásico, así como 1 o 2 fases abiertas corresponden a fallas asimétricas, ya que el sistema queda eléctricamente desbalanceado en el punto de falla.

En el caso de fallas simétricas, el cálculo se realiza en base a una representación monofásica (por fase) de la red del SEP y se aplican las técnicas normales de análisis de circuitos. Para el cálculo de las fallas asimétricas, resulta conveniente utilizar al Método de las Componentes Simétricas.

5.0 PROCEDIMIENTO

Configuración del Sistema en ETAP:

Circuito para simular: Una fuente, tres buses, un transformador y dos cargas, D.U Básico.

Realice el siguiente circuito de flujo de potencia e ingrese los parámetros a cada componente:

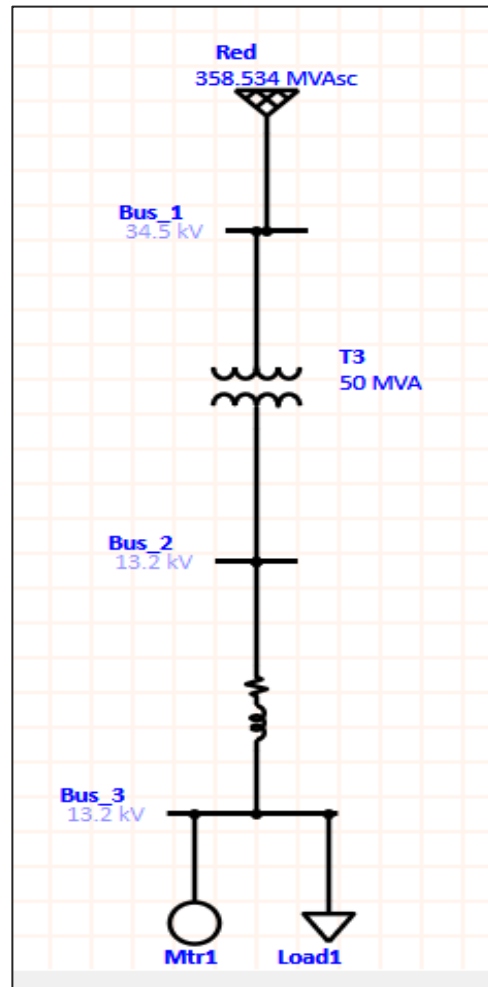


Figura 74. Diagrama de flujo de potencia para análisis de fallas.

- Configurar los siguientes elementos:

Red voltaje de 34.5 kV.

Power Grid Editor - Red

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

34.5 kV Swing

Rated kV ☒ Balanced ☐ Unbalanced

	Gen. Cat	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Startup	100	0					
7	Accident	100	0					
8	Summer Load	100	0					

Operating

% V Vangle MW Mvar

Red

OK Cancel

Figura 75. Editor Power Grid.

- Configurar la potencia de cortocircuito: 359.534 MVAsc y X/R=3.03

Power Grid Editor - Red

Info Rating Short Circuit Time Domain Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

34.5 kV Swing

Grounding

SC Rating

MVAsc MVAsc X/R kAsc

3-Phase 1-Phase

sqrt(3)Vll If Vln If

SC Impedance (100 MVAb)

	% R	% X
Pos.	8.74131	26.4862
Neg.	8.74131	26.4862
Zero	8.74131	26.4862

Red

OK Cancel

Figura 76. Configuración de parámetros Power Grid.

- Configurar el BUS 1 a 34.5 kV:

Bus Editor - Bus_1

Reliability | Phase V | Load | Motor/Gen | Rating | Arc Flash | Protection | Harmonic

34.5 kV 0 Amps Asymmetrical 0 kA

Info

ID: Bus_1

Nominal kV: 34.5

Bus Voltage

	% V	kV	Angle
Initial	100	34.5	0
Operating	0	0	0

Revision Data

Base

Condition

Service: ☒ In ☐ Out

State: As-Built

Figura 77. Editor Bus.

- Establecer parámetros del transformador:
 - Voltaje secundario de 13.2 KV.
 - 50 MVA.
 - Se debe de usar valores típicos de impedancia que ETAP proporciona.
 - Conexión: Dyn5, ángulo 150°.

2-Winding Transformer Editor - T3

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

50 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C 34.5 13.2 kV

Voltage Rating

	kV	FLA	Nominal Bus kV
Prim.	34.5	836.7	34.5
Sec.	13.2	2187	13.2

Other 65

Power Rating

MVA

Rated: 50

Other 65

Derated: 50

% Derating: 0

MFR

Z Base

MVA

50

Alert - Max

MVA

50

☒ Derated MVA ☐ User-Defined

Installation

Altitude: 3300 ft

Ambient Temp.: 30 °C

Type / Class

Type	Sub Type	Class	Temp. Rise
Liquid-Fill	Other	Other	65

T3

OK Cancel

Figura 78. Editor Transformador.

- Conexión del transformador: Conexión: Dyn5, ángulo 15°

Figura 79. Configuración de conexión de transformador

Configuración de la línea de transmisión:

- Cable Partridge ACSR, EPRIM/LAYER.
- Línea vertical y parametrizar el GMD.

Figura 80. Configuración Líneas de transmisión.

Los motores se instalan en el bus 3, verificando que el voltaje del BUS sea igual a 13.2 kV, de igual manera para el secundario del transformador.

Escoger la carga de un motor y configurar los siguientes parámetros:

- Potencia de 1500 HP.
- Factor de potencia de 90%.

Induction Machine Editor - Mtr1

Cable Amp: Info Nameplate Protection: Imp Model Reliability: Inertia Load Remarks: Start Dev Start Cat Comment: Cable/Vd

1 1500 HP 13.2 kV Cable Info not available

Ratings

	FL 100 %	75 %	50 %	NL 0 %	OL 100 %
HP	1500				
kV	13.2				
% PF	90	92.54	92.54	0	90
kVA	1325.1				
FLA	57.96				
% E#	93.79	93.79	93.79	0	93.79
Poles	4				
RPM	1800				
%FLA	100	72.94	48.63	0	100
% Slip	0.05				
RPM	1799				
SF	1				

Library... None

Loading

Category	Loading		Motor Load		Feeder Loss	
	%	HP	kW	kvar	kW	kvar
1 Design	100	1500	1193	577.6	0	0
2 Normal	90	1350	1073	488.5	0	0
3 Brake	0	0	0	0	0	0
4 Winter Load	0	0	0	0	0	0
5 Summer Load	0	0	0	0	0	0
6 FL Reject	0	0	0	0	0	0
7 Emergency	0	0	0	0	0	0
8 Shutdown	0	0	0	0	0	0

Operating Load: 0 kW +j 0 kvar

Mtr1 OK Cancel

Figura 81. Parámetros de motor.

Instalación de una carga estática:

- Potencia de 20 MVA
- Factor de potencia de 90.

Static Load Editor - Load1

Info Loading Cable/Vd Cable Amp Time Domain Harmonic Reliability Remarks Comment

1 18 MW 8.718 Mvar 13.2 kV Cable Info not available

Ratings

kV	MVA	MW	Mvar	% PF	Amps
13.2	20	18	8.718	90	874.8

Grounding

Calculator...

Figura 82. Parámetros de carga.

SIMULACION.

Ir a la pestaña Estudio de Fallas de cortocircuito y luego seleccionar Edit Study Case en ETAP para seleccionar los puntos de análisis.

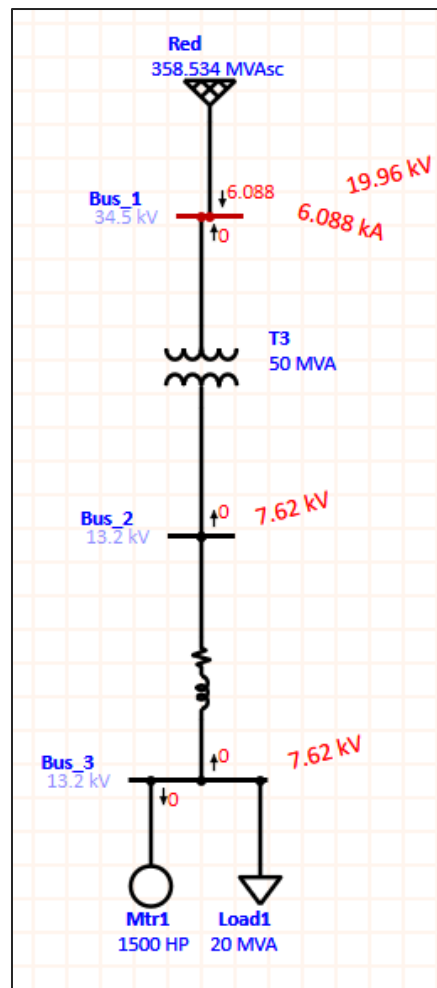


Figura 83. Simulación de fallas de cortocircuito.

Configurar los tipos de fallas que vas a simular:

- Falla trifásica (3F): En el BUS 1.
- Falla línea a tierra (LG): En el BUS 2.
- Falla línea a línea (LL): En el BUS 3.

Seleccionar la ubicación específica del punto de falla en cada caso y el tipo de falla que se desea estudiar.

1. Ejecutar el análisis de fallas en cada punto de falla configurado.
2. Observar los resultados de corriente y voltaje en los buses y líneas afectados por cada tipo de falla:
 - Registra las corrientes de falla en amperios (A).
 - Registra los voltajes en los elementos cercanos al punto de falla.
3. Captura las pantallas de los resultados para usarlos en la sección de análisis y discusión.

5.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO.

Comparación de Corrientes de Falla:

- Para cada tipo de falla, compara los niveles de corriente observados. ¿Cuál de las fallas genera la mayor corriente de cortocircuito? Anota tus observaciones.

- Variación de Voltaje en Elementos Cercanos a la Falla:

- Observa cómo varía el voltaje en el transformador y la carga según el tipo de falla. Registra los valores y discute qué significa esta variación para la estabilidad del sistema.

- Redacta un breve análisis sobre tus hallazgos, considerando las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué es importante analizar cada tipo de falla en el sistema?

2. ¿Cómo afectan estos niveles de corriente de falla al diseño de equipos de protección?

3. ¿Qué recomendaciones harías para el ajuste de protección en este sistema?

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: SISTEMAS DE POTENCIA I	PRACTICA N°4
	TEMA: ANALISIS DE FALLAS Y PROTECCIONES	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL.

- 1.1 Analizar los métodos y técnicas de protección utilizados con el software ETAP para garantizar la seguridad y continuidad del suministro eléctrico de potencia.

2.0 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- 2.1 Configurar el modelo del sistema eléctrico en ETAP para realizar un análisis de fallas y seleccionar las normativas internacionales aplicables.
- 2.2 Determinar las corrientes de falla y observar los tiempos de operación de los dispositivos de protección instalados en el sistema eléctrico.
- 2.3 Verificar la coordinación de los dispositivos de protección, como interruptores automáticos, relés de protección y fusibles, asegurando una actuación adecuada en función de las características de la falla.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO.

- 3.1 Computadora o laptop.
- 3.2 Software ETAP versión 22.5.

4.0 INTRODUCCION TEORICA

En el mundo de la ingeniería eléctrica, la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los sistemas de potencia son aspectos fundamentales para garantizar un suministro eléctrico estable y de calidad. El análisis de fallas y la aplicación de dispositivos de protección juegan un papel crucial en la detección y mitigación de posibles problemas que puedan surgir en un sistema eléctrico.

En esta guía conoceremos los conceptos teóricos y prácticos relacionados con el análisis de fallas y las técnicas de protección en sistemas de potencia. A través de simulaciones con el software ETAP de esta manera los estudiantes tendrán la oportunidad de familiarizarse con los

diferentes tipos de fallas eléctricas, los dispositivos de protección utilizados y los procedimientos para detectar y aislar fallas de manera eficaz.

5.0 PROCEDIMIENTO.

Configuración del Sistema en ETAP

Iniciar ETAP y abrir un archivo de sistema de prueba o configura un sistema básico con los siguientes elementos:

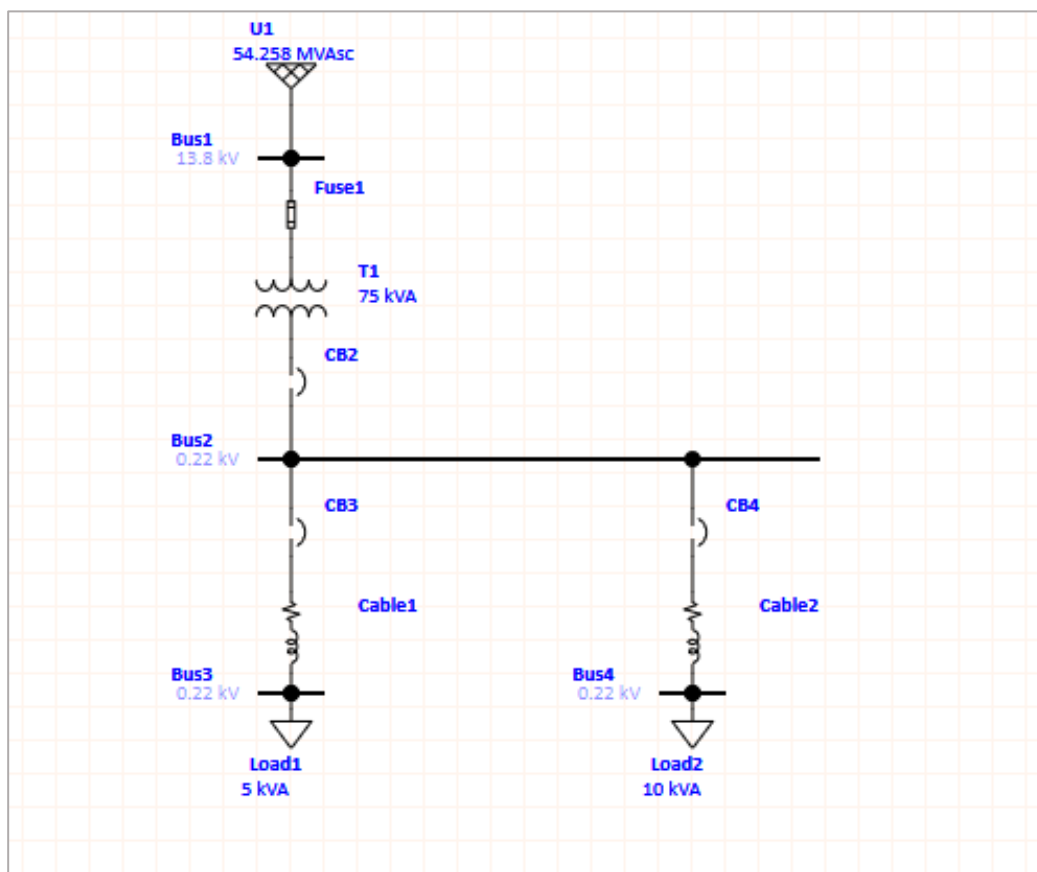


Figura 84. Circuito de Flujo de potencia para análisis de fallas.

1. Colocar la normativa ANSI.

Selección en la barra de herramientas Project, dar clic en estándar y luego aparecerá la siguiente pantalla. Colocar la frecuencia a 60 Hz y el sistema de unidades a métrico.

2. Parámetros de Buses:

BUS	KV	% V	ANGULO
1	13.8	100	0°
2	0.22	100	0°
3	0.22	100	0°
4	0.22	100	0°

Tabla 19. Parámetros de Buses.

3. Parámetros de Power grid:

MAV _{sc}	X/R	kA _{sc}
3 fases	8.54	2.27
1 fase	10.26	2.41

Tabla 20. Parámetros Power Grid.

4. Ingresar Parámetros de la carga:

Cargas	KVA	FP %
Load 1	5	100
Load 2	10	90

Tabla 21. Parámetros de cargas 1 y 2.

5. Ingresar los parámetros de cable:

- Dar clic en loading, luego ir a FLA y habilitar la pestaña y seleccionar la opción de load 1. Aparece el valor de carga a la que está conectado el cable.

Cable Editor - Cable1

Sizing - Phase	Sizing - GND/PE	Reliability	Routing	Remarks	Comment
Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Amcapacity
NEC	Mag.	60 Hz	Code : 4		
THWN	100 %	0.6 kV	1/C CU	4	AWG/kcmil

Operating Load / Current

Avg.	Phase A	Phase B	Phase C	Growth Factor (GF)
Amp 0	0	0	0	100 %
%PF 100	100	100	100	

Loading Current for Sizing

Amp

☐ Operating Current

☒ FLA of Element 13.12 Load1

☐ User-Defined

UnderGround Raceway System (UGS)

Load Factor 100 %

Sheath/Armor Current 0 %

Optimization Options

☐ Fixed Current

Transient Load Profile

Time	Current
1 0.00	0.0

Insert

Add

Delete

Time Unit

Figura 85. Editor de cables.

6. Luego ir a info y aparecerá la siguiente ventana y Revisar las unidades del sistema seleccionar en metros.

Cable Editor - Cable1

Sizing - Phase	Sizing - GND/PE	Reliability	Routing	Remarks	Comment
Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Amcapacity
NEC	Mag.	60 Hz	Code : 4		
THWN	100 %	0.6 kV	1/C CU	4	AWG/kcmil

Info

ID Cable1

From Bus2 0.22 kV

To Bus3 0.22 kV

Revision Data

Base

Equipment

Tag #

Name

Description

Condition

☒ In

☐ Out

State As-Built

No. of Conductors / Phase

1

Length

Length 100 m

Tolerance 0 %

Library

Library...

☐ Link to Library

Connection

☒ 3 Phase

☐ 1 Phase

OK Cancel

Figura 86. Editor de cable para librería.

7. Ir a librería y escoger los parámetros del cable en unit, freq.type, kv,#c, insul, source y luego darle ok.

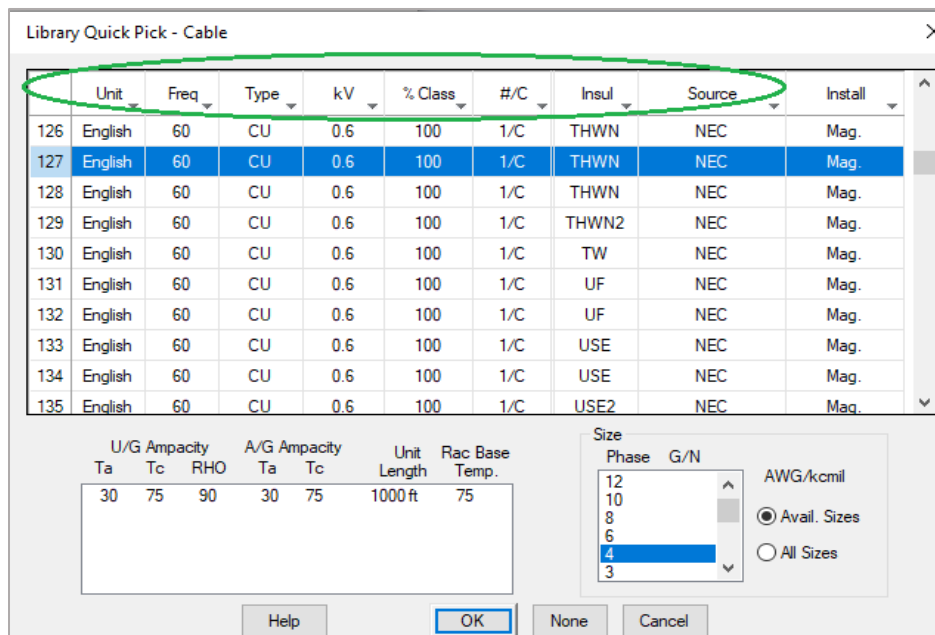


Figura 87. Librería de cables.

8. Regresamos a sizing, en aplicación de cable seleccionamos otros y en MF el valor de 1.25 y activar MF por ampacidad. Aumentar % caída de tensión y dar clic en selección.

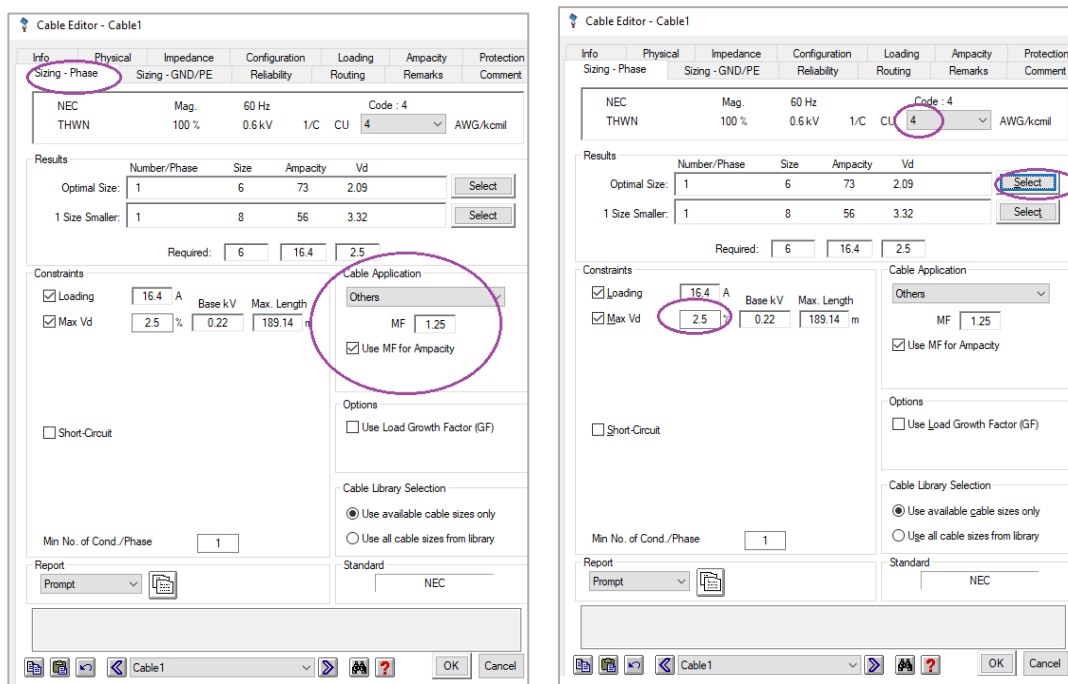


Figura 88. Selección de cable.

9. Seleccionar sizing phase y aparecen los valores calculados, seleccionamos ampacidad y le cambiamos los valores en instalación de capacidad de ampacidad y seleccionamos estándar y escogemos IEC y en type escogemos A/G Conduit,

Temperatura en 30° y ajuste por IEC.

Figura 89. Ampacidad de cable.

Nota: En el apartado “Standard” de “Installation for Ampacity/Capacity” seleccionar NEC en caso no permita seleccionar la norma IEC 60364.

10. Insertar parámetros de transformador:

VOLTAJES	KV	KVA	IMPEDANCIA	ALTITUD
PRIMARIO DELTA	13.8	75	TIPICAL Z X/R	1000 M
SECUNDARIO ESTRELLA	0.22			

Tabla 22. Parámetros de transformador para practica 3.

11. Parámetros para los fusibles Dar clic en fusible, rating, librería y escoger Bussmann.

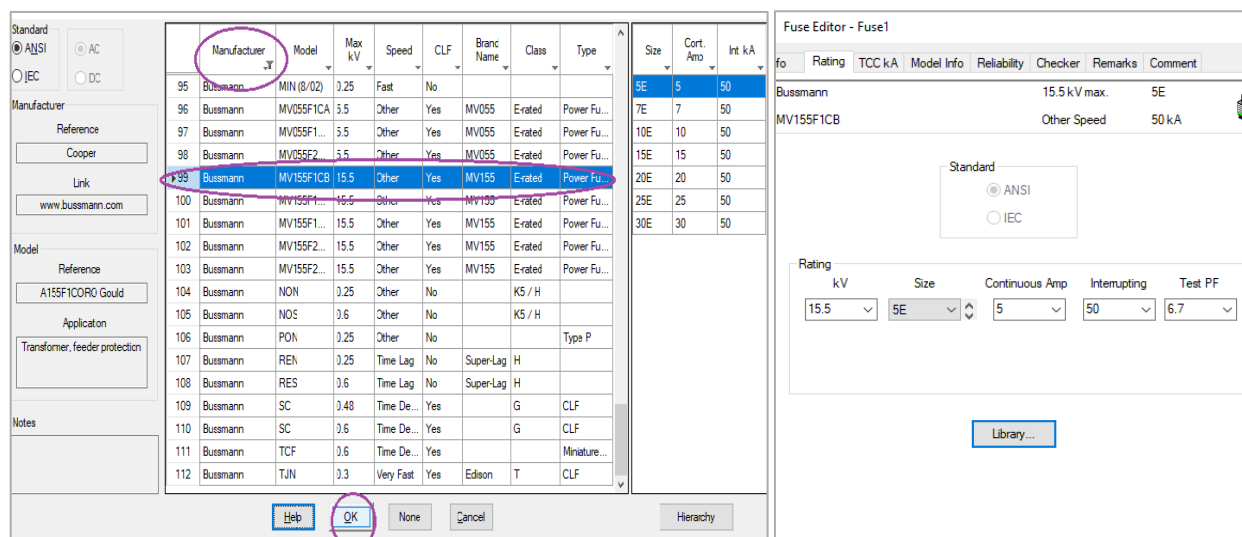


Figura 90. Librería de fusibles.

12. Parámetro de interruptores.

CB2, CB3 y CB4, en el caso de CB4 copiar los parámetros de CB3.

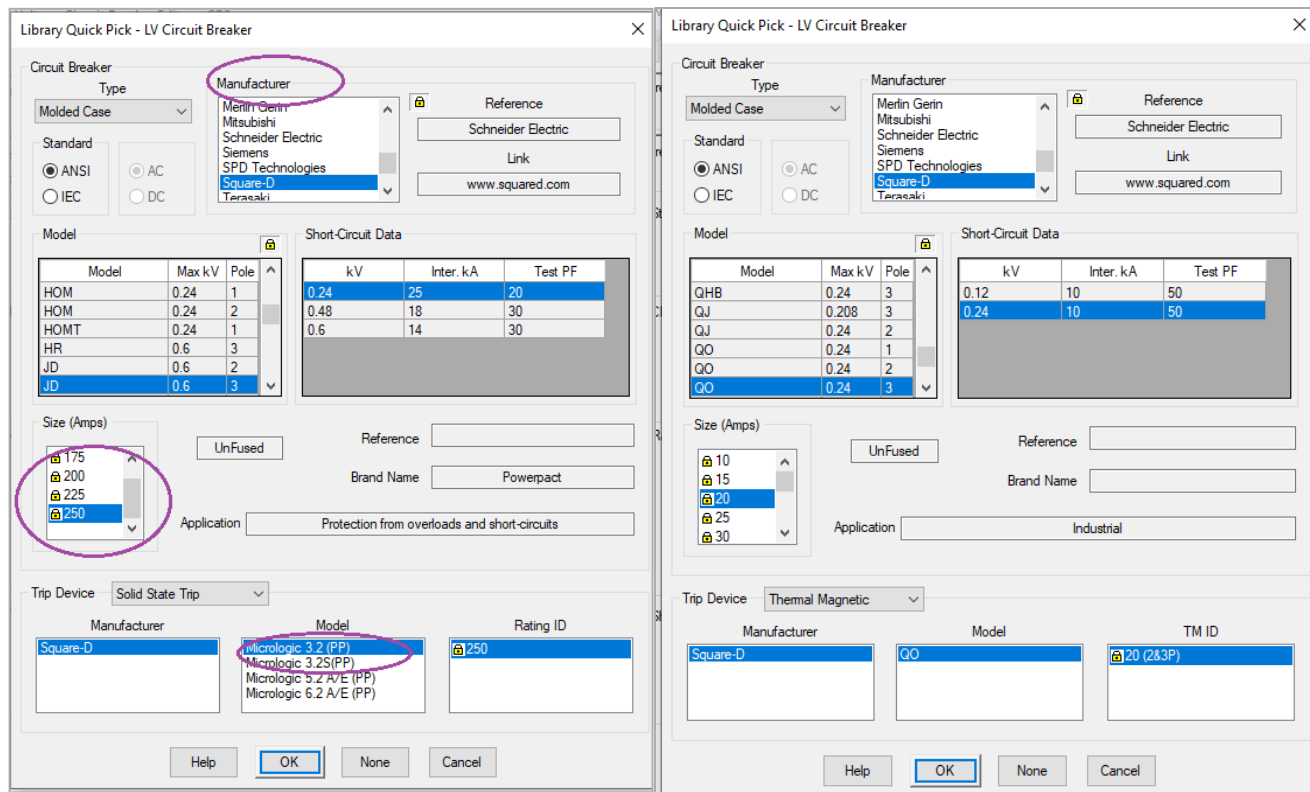


Figura 91. Librería de fusibles.

Simulador de protección y coordinación.

Seleccionar el modo de estudio de análisis de protecciones:

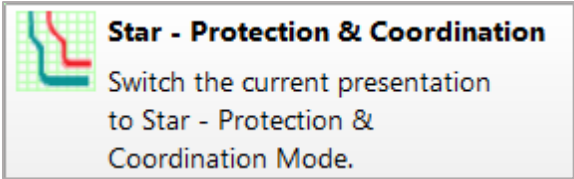


Figura 92. Simulador Star Protection.

Seguidamente podemos encontrar diferentes herramientas para observar la coordinación de protecciones.



Figura 93. Herramientas de simulador de protecciones.

6.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Ya ingresados los parámetros de cada elemento, simule el circuito usando el modo short circuit y colocar en falla todos los buses y escriba los valores de cortocircuito de cada bus.

BUS	KA
1	
2	
3	
4	

Tabla 23. Resultados de simulación de short circuit.

2. Describa los pasos para cambiar la norma estándar.

3. Utilice la herramienta SEQUENCE VIEWER y anote los tiempos de activación de la falla provocada en la carga 1.

Time (ms)	ID	If(kA)	T2(ms)

Tabla 24. Resultado simulación Sequence Viewer en la carga 1.

4. Simule el circuito usando el modo de simulación de protección y coordinación y simule la falla en la carga 2 y anote la secuencia de activación de las protecciones.
-

5. Utilice la herramienta SEQUENCE VIEWER y anote los tiempos de activación de la falla provocada en la carga 2.

Time (ms)	ID	If(kA)	T2(ms)

Tabla 25. Resultado de simulación Sequence Viewer en carga 2.

6. Provoque la falla en el BUS 2 y anote la secuencia de activación de las protecciones y los tiempos de activación.

Time (ms)	ID	If(kA)	T2(ms)

Tabla 26. Resultado de falla en Bus 2.

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: SISTEMAS DE POTENCIA II	PRACTICA N°5
	TEMA: DESPACHO ECONÓMICO “OPF”	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL.

1. Implementar y analizar el despacho económico de carga en sistemas de potencia utilizando el software ETAP, a través de la función Optimal Power Flow (OPF), para optimizar la asignación de generación minimizando costos y cumpliendo con restricciones operativas.

2.0 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Comprender los fundamentos del despacho económico de carga y su importancia en la operación eficiente del sistema eléctrico.
2. Configurar un modelo de sistema de potencia en ETAP con múltiples fuentes de generación y diferentes costos operativos.
3. Aplicar el módulo Optimal Power Flow (OPF) en ETAP para simular escenarios de despacho económico bajo diversas condiciones de carga.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO.

1. Computadora o laptop.
2. Software ETAP versión 22.5.

4.0 INTRODUCCION TEORICA.

El diseño de sistemas de distribución eléctrica constituye una de las áreas esenciales de la ingeniería eléctrica, ya que asegura la entrega eficiente, continua y segura de energía a los usuarios finales. Dentro de este contexto, la operación económica de un sistema de potencia resulta crucial para maximizar la eficiencia global y minimizar los costos asociados a la generación y el suministro. Factores como las tarifas regulatorias, el precio del combustible, los costos de mantenimiento y las condiciones de operación hacen necesaria la optimización de la producción

de potencia, garantizando así un equilibrio entre confiabilidad, calidad del servicio y viabilidad económica.

El despacho económico busca reducir los costos de generación al determinar la asignación óptima de potencia entre las unidades generadoras para cubrir la demanda con el menor consumo de combustible. Este proceso está estrechamente ligado al Flujo de Potencia Óptimo (Optimal Power Flow), que permite minimizar las pérdidas en la red mientras se cumplen restricciones operativas.

El cálculo del OPF se basa en métodos como Newton-Raphson, ajustando automáticamente los parámetros del sistema para lograr un despacho eficiente. En esta práctica, se analizará la aplicación del despacho económico y del OPF utilizando ETAP, evaluando su impacto en la eficiencia del sistema eléctrico.

5.0 PROCEDIMIENTO.

El sistema de potencia está conformado por 4 unidades generadoras y 5 barras, con una generación de 570 MW. El objetivo es optimizar la asignación de carga para satisfacer la demanda del sistema, distribuyendo la potencia entre los generadores de manera que se minimicen los costos de operación y se cumplan las restricciones técnicas y operativas establecidas.

Generadores:

Cada generador tiene una función de costo cuadrática de la forma:

$$C(P)=C_0+C_1P+C_2P^2 \quad (34)$$

Donde:

- **P** es la potencia generada en MW.
- **C(P)** es el costo en \$/h.
- Los parámetros *C0*, *C1* y *C2* son constantes características de cada unidad generadora, determinadas a partir de sus curvas de consumo de combustible o datos históricos de operación.

Ecuación de cada generador:

$$Gen1: 30 + 7.0P_1 + 0.05P_1^2$$

$$Gen2: 25 + 6.5P_2 + 0.08P_2^2$$

$$Gen3: 28 + 7.0P_3 + 0.06P_3^2$$

$$Gen4: 22 + 7.2P_4 + 0.07P_4^2$$

Realizar el siguiente circuito de flujo de potencia e ingresar los parámetros correspondientes a cada elemento:

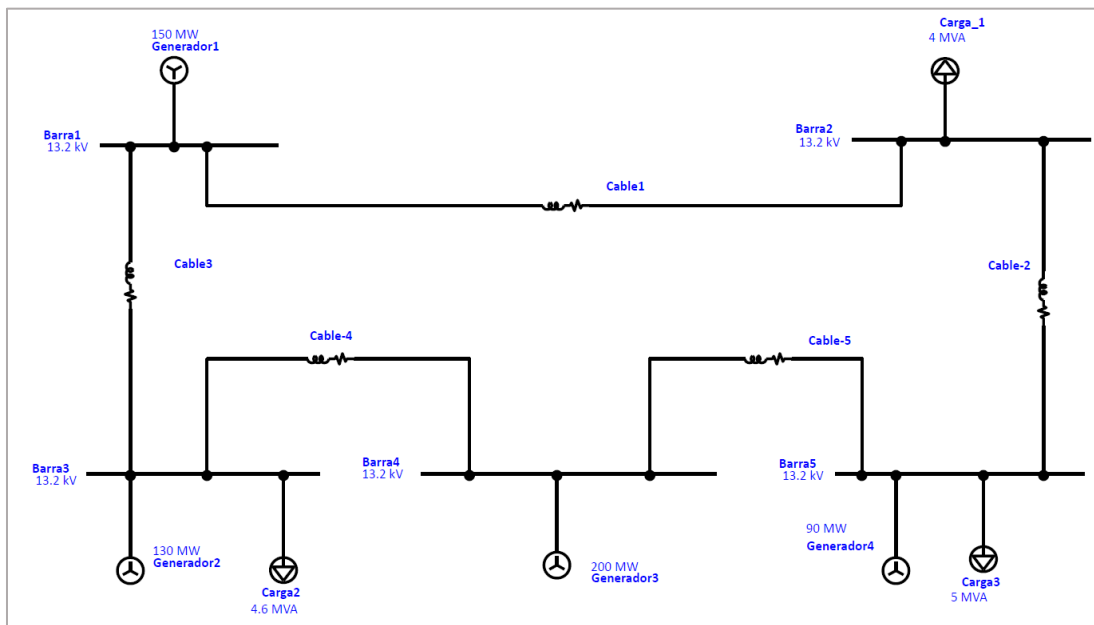


Figura 94. Diagrama unifilar caso de estudio de flujo óptimo de carga.

Los datos de los generadores son los siguientes:

Generador	Barra	P (MW)	P _{min} (MW)	P _{max} (MW)	C0 (\$/h)	C1 (\$/MW)	C2 (\$/MW ²)
Gen1(Swing)	1	150	0	200	30	7	0.05
Gen2	3	130	0	150	25	6.5	0.08
Gen3	4	200	0	180	28	7	0.06
Gen4	5	90	0	120	22	7.2	0.07

Tabla 27. Parámetros de Generadores.

- Con los datos anteriores completar la pestaña “Fuel Cost” de cada generador:

Synchronous Generator Editor - Gen1

Info Rating Capability Imp/Model Grounding Inertia Exciter Governor PSS
Harmonic Protection Reliability Fuel Cost Time Domain O and M Remarks Comment

13.2 kV 150 MW Swing

Fuel Type

Model Type: Equation

Curve Type: Cost vs. Output

Profile: Fuel Cost 0

Fuel Cost: 0.01 \$/MBtu

Operating Limits

☐ Online Value ☒ User-Defined

Min MW: 0 Max MW: 200

Operating Range: 0 200

☐ Prohibited Operating Zone

Model Parameter

$y = C0 + C1*x + C2*x^2 + C3*exp(K*x)$

y=\$/hr x=MW

C0: 30 C1: 7 C2: 0.05 C3: 0 K: 0

Cost Curve

Cost (\$/hr) Output MW Fuel Cost (\$/MWh)

Print

Gen1 OK Cancel

Figura 95. Parámetros Fuel Coast de un generador.

Parámetros para cables:

Cable	Barras	Freq	kV	#/C	Insul	Source	AWG/kcmil
1	1-2	60	15	1/C	XLPE	AlcatelWire	1000
2	2-5	60	15	1/C	XLPE	AlcatelWire	250
3	1-3	60	15	1/C	XLPE	AlcatelWire	250
4	3-4	60	15	1/C	XLPE	AlcatelWire	250
5	4-5	60	15	1/C	XLPE	AlcatelWire	250

Tabla 28. Parámetros de cables.

Parámetros para cargas del sistema:

Carga	Barra	P (MVA)
1	2	4.0
2	3	4.6
3	5	5.0

Tabla 29. Parámetros de cargas.

Configurar el flujo óptimo de carga (OPF):

- Entrar al modo de estudio “Optimal Power Flow”:

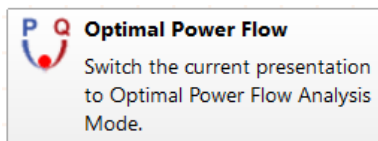


Figura 96. Simulador Optimal Power Flow.

- Como siguiente paso, se deben de establecer algunos parámetros con “Edit Study Case



Figura 97. Editor caso de estudio OPF.

- En la pestaña de Generador se tienen que seleccionar todos los generadores que estarán funcionando dentro de nuestro sistema de potencia.

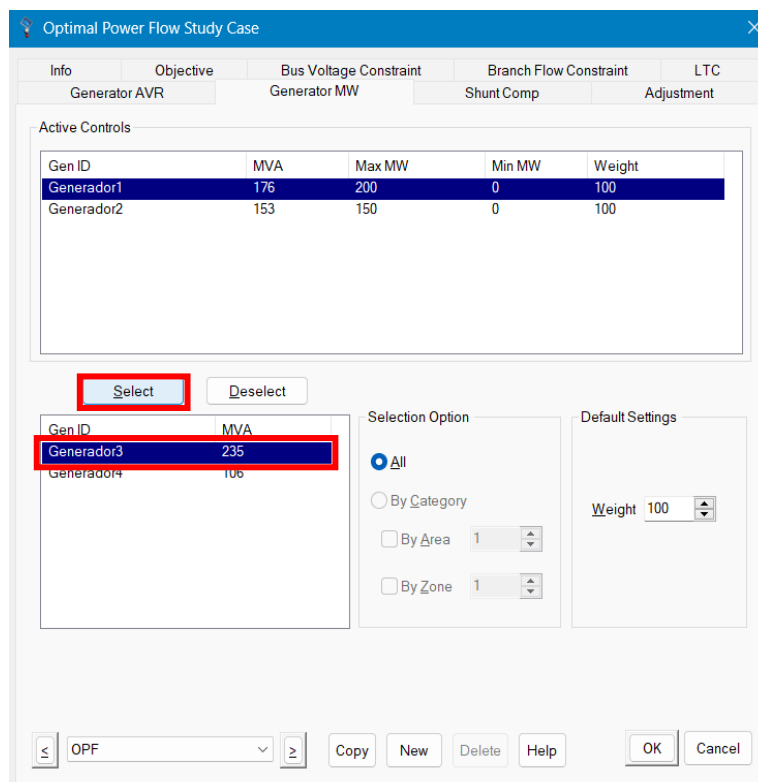


Figura 98. Parametrización Editor caso de estudio OPF.

- Seleccione los objetivos para este caso de estudio, en el cual se definirán: Minimizar las

pérdidas de potencia real, Minimizar las pérdidas de potencia reactiva y Minimizar el costo del combustible, como se observa en la siguiente imagen:

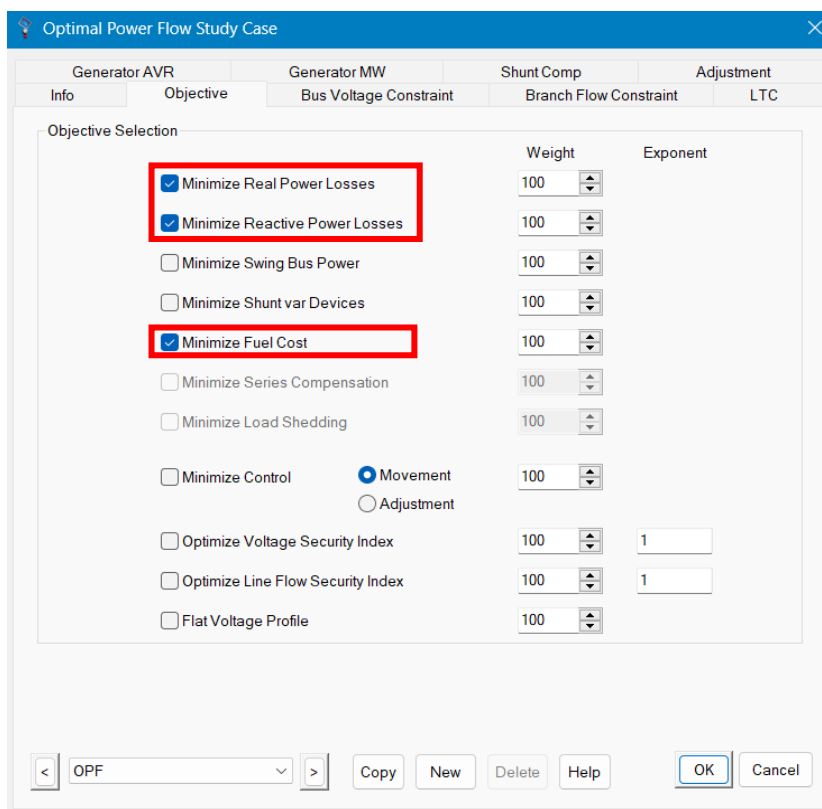


Figura 99. Configuración de objetivos de OPF.

Ejecutar la simulación OPF

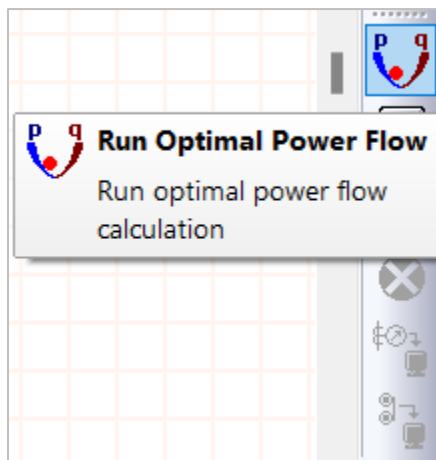


Figura 100. Icono Run Optimal Flow.

- Observar los resultados de distribución de generación:

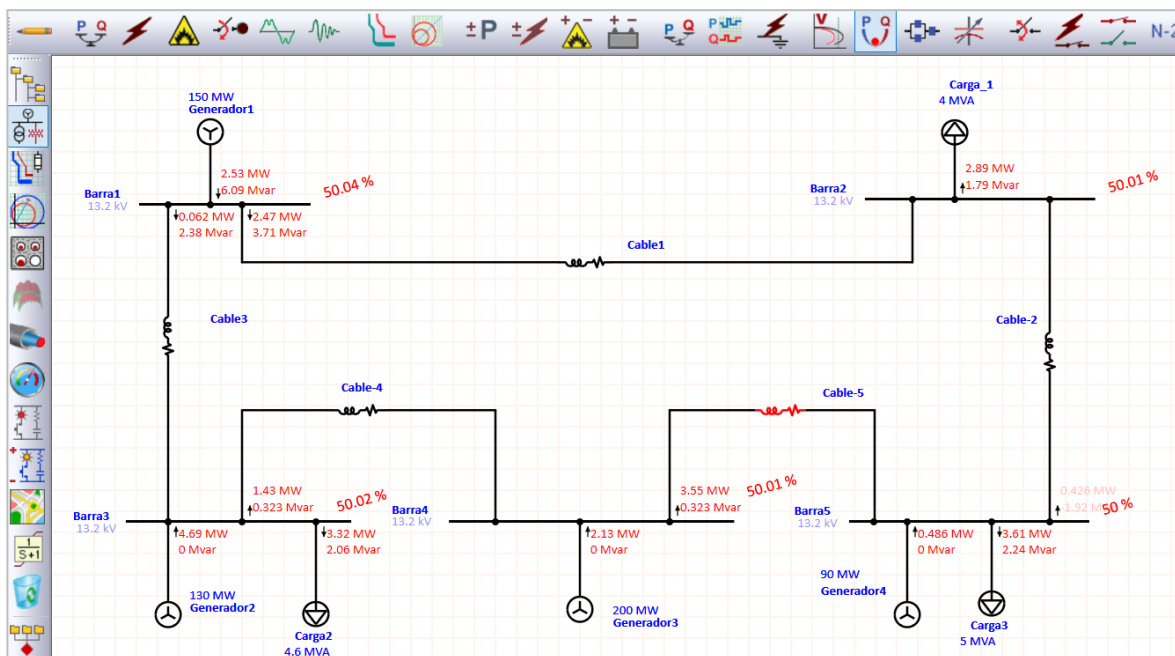


Figura 101. Simulación de flujo óptimo de potencia.

Observar los resultados.

- Cambiar los objetivos del caso y selecciona “Flat Voltage Profile” para que el voltaje del sistema sea estable a lo largo del estudio.

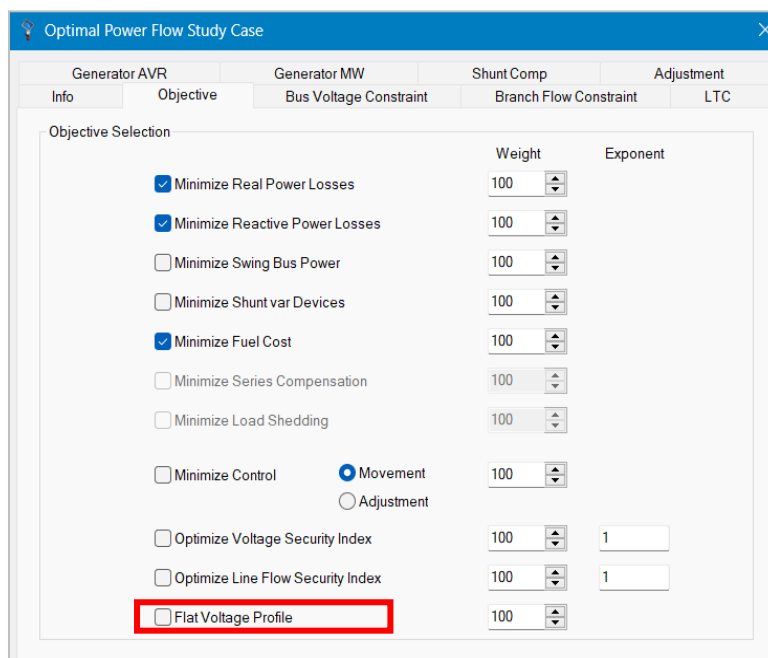


Figura 102. Modificación de objetivos OPF.

- Observar los resultados con los cambios realizador y hacer una comparación con el estudio anterior.

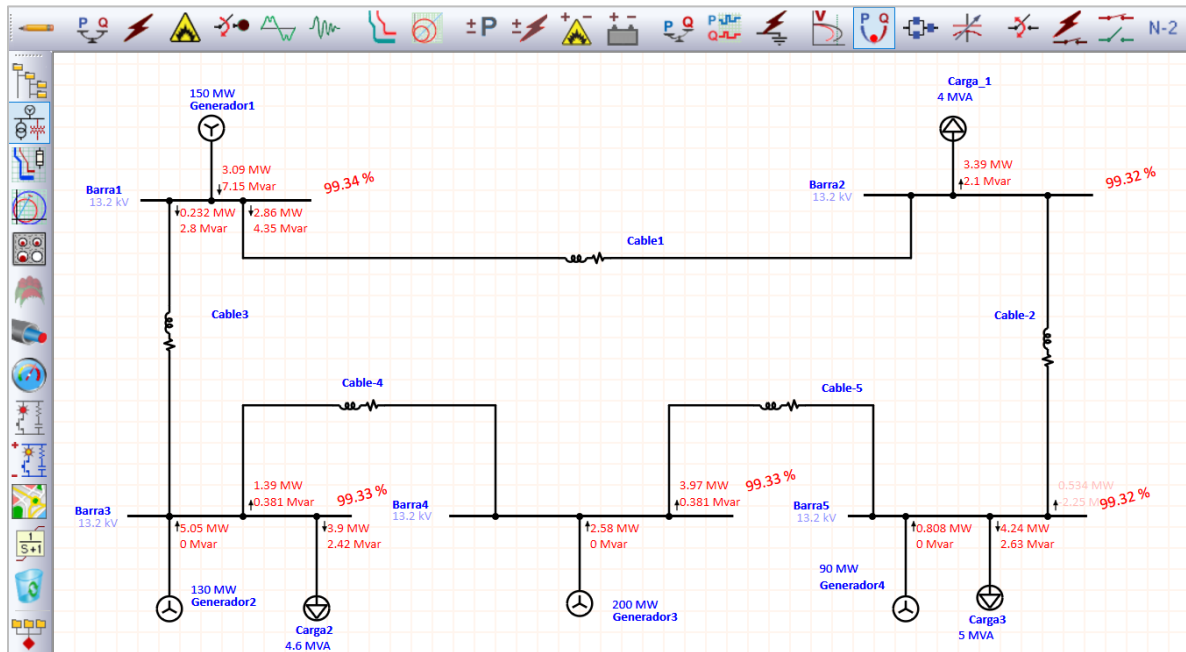


Figura 103. Simulación de circuito de flujo optimo con voltaje estable.

6.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO.

1. ¿Cuál es el objetivo del análisis de Flujo Óptimo de Carga (OPF) en sistemas eléctricos?

2. ¿Qué generador tuvo la mayor participación en la generación? ¿Por qué?

3. ¿Qué impacto tendría cambiar el nivel de voltaje del sistema de 13.2 kV a 34.5 kV en términos de pérdidas y estabilidad?

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: SISTEMAS DE POTENCIA II	PRACTICA N°6
	TEMA: ANALISIS DE ARMONICOS	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL

1.1 Analizar la presencia de armónicos en sistemas eléctricos utilizando herramientas de simulación ETAP para identificar sus fuentes así mismo evaluar su impacto en la calidad de la energía y el funcionamiento de los equipos, con el fin de proponer medidas de mitigación.

1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- 1.3 Identificar las fuentes principales de generación de armónicos en un sistema de potencia
- 1.4 Interpretar y conocer la calidad de energía en un sistema de potencia
- 1.5 Dimensionar y seleccionar filtros para mitigar los armónicos en un sistema

2.0 MATERIAL Y EQUIPO

- Centro de computo
- Guía practica
- Software ETAP 22.5

3.0 INTRODUCCION TEORICA

Análisis de armónicos en sistemas eléctricos

La calidad de la energía es un aspecto fundamental en los sistemas eléctricos modernos. Los armónicos, como distorsiones de la forma de onda sinusoidal, pueden deteriorar esta calidad y causar problemas en el funcionamiento de los equipos. Esta guía proporciona las herramientas y conocimientos necesarios para analizar la presencia de armónicos en un sistema eléctrico utilizando el software ETAP. A través de ejemplos prácticos, aprenderás a identificar las fuentes de armónicos, evaluar su impacto y proponer soluciones para mitigarlos. Al finalizar esta guía, serás capaz de realizar un análisis detallado de la calidad de la energía en cualquier sistema eléctrico.

4.0 PROCEDIMIENTO

- Construir el siguiente circuito de flujo de potencia usando el software ETAP 22.5.

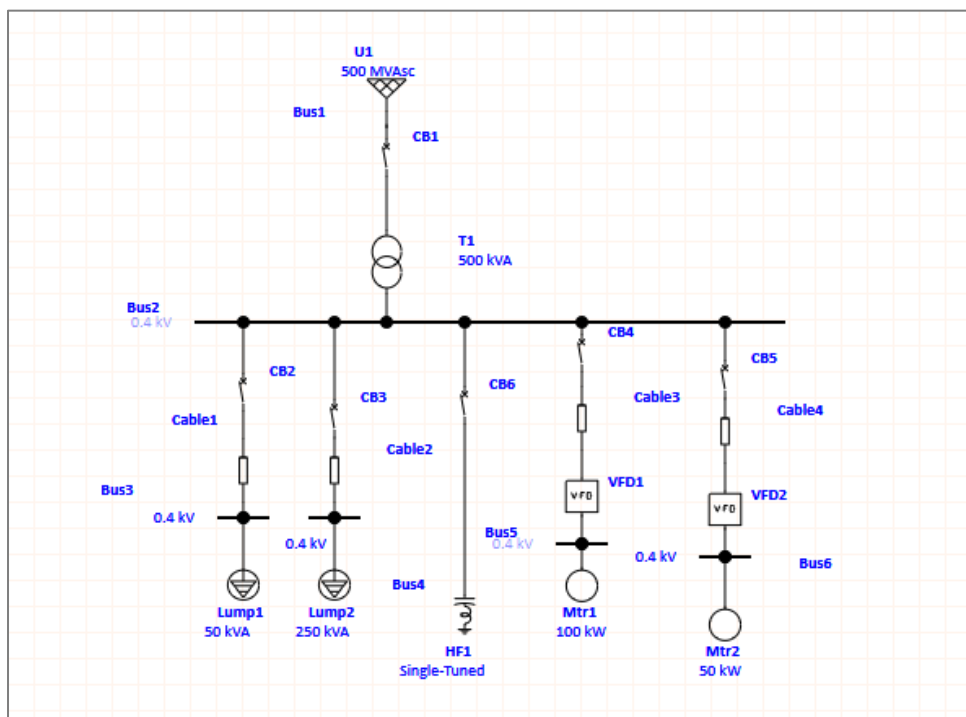


Figura 104. Circuito de Análisis de Armónicos.

1. INGRESAR PARAMETROS

POWER GRID	PARAMETROS
SHORT CIRCUIT	GROUNDING
SC RATING	MVASC 500
XR	5

Tabla 30. Parámetros Power Grid.

TRANSFORMADOR	PARAMETROS
POWER RATING	500 KVA
VOLTAJE RATING	PRIMARIO 22 KV, SECUNDARIO 0.4 KV
IMPEDANCE	TIPICAL
GROUNDING	ANGULO -30° CONEXIÓN DELTA/ESTRELLA

Tabla 31. Parámetros Transformador.

CARGA 1	PARAMETROS
NAMEPLATE, RATING	50 KVA FP % 90
LOAD TYPE	100%

Tabla 32. Parámetros de Carga 1.

CARGA 2	PARAMETROS
NAMEPLATE, RATING	250 KVA FP % 85
LOAD TYPE	100%

Tabla 33. Parámetros de carga 2.

MOTOR 1	PARAMETROS
NAMEPLATE, RATING	100 KW 0.4 KV NEC SELECTION

Tabla 34. Parámetros de motor 1.

MOTOR 2	PARAMETROS
NAMEPLATE, RATING	50 KW 0.4 KV NEC SELECTION

Tabla 35. Parámetros de motor 2.

VARIADOR 1	PARAMETROS
RATING, OUTPUT	250 KW 0.4 KV
HARMONIC, LIBRARY	USE LIBRARY DATA TYPICAL – IEEE 6 PULSE 1 CURRENT SOURCE
VARIADOR 2	PARAMETROS
RATING, OUTPUT	100 KW 0.4 KV
HARMONIC, LIBRARY	USE LIBRARY DATA TYPICAL – IEEE 6 PULSE 1 CURRENT SOURCE

Tabla 36. Parámetros de variador 1 y 2.

CABLE 1	PARÁMETROS
INFO, LENGTH	25 M
LIBRERÍA	XLPE PRYSMIAN 1/3 CONDUCTOR TIPO ALUMINIO FRECUENCIA 60 HZ 250 AWG/KCMIL CALCULADA
IMPEDANCIA	
CABLE 2	
INFO, LENGTH	50 M
LIBRERÍA	XLPE PRYSMIAN 1/3 CONDUCTOR TIPO ALUMINIO FRECUENCIA 60 HZ 500 AWG/KCMIL CALCULADA
IMPEDANCIA	
CABLE 3	
INFO, LENGTH	XLPE PRYSMIAN 1/3 CONDUCTOR TIPO ALUMINIO 4/0 FRECUENCIA 60 HZ CALCULADA
IMPEDANCIA	
CABLE 4	
INFO, LENGTH	XLPE PRYSMIAN 1/3 CONDUCTOR TIPO ALUMINIO 3/0 FRECUENCIA 60 HZ CALCULADA
IMPEDANCIA	

Tabla 37. Parámetros de cables.

- Una vez completado el diagrama con todos los parámetros previamente ingresados se procede a simular EL FLUJO DE POTENCIA, dejando el interruptor del filtro sin servicio (open) observar el resultado de los datos de cada barra.

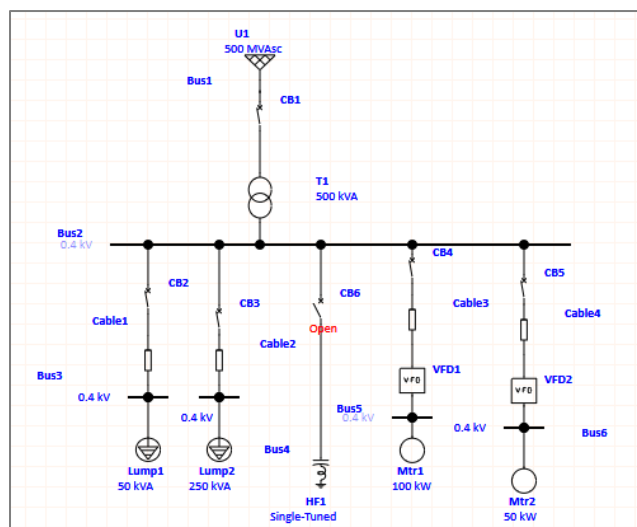


Figura 105. Diagrama de flujo de potencia con interruptor desactivado.

3. CONFIGURACION DEMODO DE SIMULACION DE ARMONICOS

Seleccionar el simulador de ejecución de flujo de carga de armónico

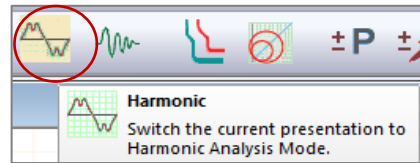


Figura 106. Simulador de Armónicos.

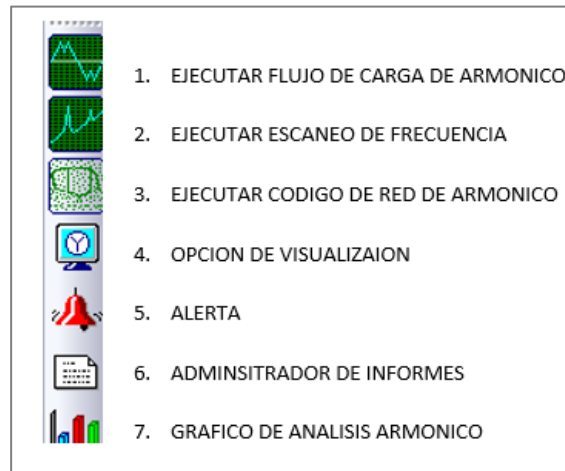


Figura 107. Herramientas de Simulador de Armónicos.

4. Configuración de caso de estudio

- Ingresar al caso de estudio de armónicos, seleccionar plot, buses y luego plot /tabule.
- Posterior ejecutar flujo de carga de armónico.
- Seleccionar en opciones de visualización los valores de los datos en la casilla de mostrar unidades, z ángulo.
- Selecciona en nivel de orden 11 dando clic.



Figura 108. Configuración de Nivel de Armónico.

- Realizar el análisis con el gráfico de armónicos, seleccionar el bus 4 para realizar el análisis.
- Colocar los parámetros del filtro con los valores siguientes.

FILTRO DE ARMONICO	
FILTER TYPE	SINGLE TUNED
PARAMETER, SIZE FILTER	ARMONIC ORDER 11 ARMONIC CURRENT 20 A
FACTOR DE POTENCIA	FACTOR DE POTENCIA EXISTENTE 91.09 FACTOR DE POTENCIA DESEADO 96 LOAD 0.1892
SIZE FILTER	SELECCIONAR SIZE FILTER Y LUEGO SUSTITUTE

Tabla 38. Parámetros de filtro de Armónicos.

- Activar el disyuntor del filtro, simular el flujo de armónico, colocar en la escala el armónico 11 y ver el resultado del armónico total.
- Vuelva a realizar el análisis de grafico con el nivel de armónico 11.
- Desactivar el disyuntor del filtro y colocar en la escala el armónico 11 y ver el resultado del armónico total.

5.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

Ejecútela simulación de armónicos y conteste las siguientes preguntas

1. Explique que son los armonios en un sistema eléctrico:

2. ¿Qué efectos negativos pueden causar los armónicos en un sistema eléctrico?

3. Identifique las fuentes de armónicos en el sistema de potencia realizado:

4. ¿Como se puede mitigar los armonios en los sistemas eléctricos?

5. ¿Cuál es el resultado del armónico total en el nivel 7 sin la activación del filtro de armónicos?

6. ¿Cuale es el resultado del armónico total en el nivel 7 al activar el filtro de armónicos?

7. Explique el grafico del armónico 11 con el filtro activado y anote el resultado de thd:

Valor tdh: _____

8. ¿Qué factores se deben considerar al diseñar un filtro de armónicos?

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: DISEÑO DE LINEAS DE TRANSMISION	PRACTICA N°7
	TEMA: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN LARGAS, MEDIAS Y CORTAS	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Comprender el comportamiento y diseño de las líneas de transmisión medias, así como sus principales parámetros eléctricos y su impacto en la calidad del servicio eléctrico.

2.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Explicar los conceptos fundamentales de las líneas de transmisión medias.
- 2.2 Identificar los parámetros eléctricos que afectan el desempeño de una línea de transmisión.
- 2.3 Analizar el impacto de la resistencia, inductancia y capacitancia en la transmisión de energía.
- 2.4 Aplicar herramientas de simulación para evaluar el comportamiento de una línea de transmisión.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1 Computadora con software de simulación ETAP

4.0 INTRODUCCIÓN TEORICA

Las líneas de transmisión medias se refieren a aquellas con extensiones intermedias, generalmente entre 80 km y 240 km, y operan comúnmente a niveles de tensión de 115 kV. Estas líneas presentan efectos significativos de resistencia, inductancia y capacitancia, los cuales influyen en las pérdidas y en la eficiencia del sistema. El estudio de estos parámetros es esencial para optimizar el diseño y operación de las redes eléctricas.

5.0 PROCEDIMIENTO

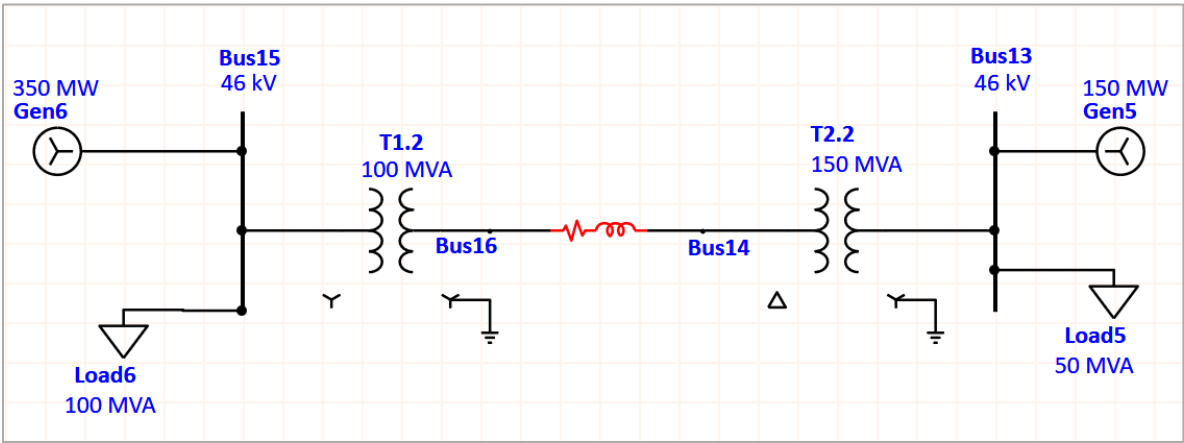


Figura 109. Diagrama de flujo de potencia de líneas de transmisión.

- 1. Dibujar el DU según la imagen.
- 2. Parametrizar los buses del sistema

Elemento	Tensión
Bus 1	46 kV
Bus 2	46 kV

Tabla 39. Parámetros de Buses 1 y 2.

Bus Editor - Bus1

Info

Reliability

Phase V

Load

Motor/Gen

Rating

Arc Flash

Protection

Comment

Harmonic

46 kV 0 Amps

Asymmetrical 0 kA

Info

ID Bus1

Nominal kV 46

Bus Voltage

% V

kV

Angle

Initial 100 46 0

Operating 100 46 0

Equipment

Tag #

Name

Description

Priority Critical

Classification

Zone 1

Area 1

Region 1

Revision Data

Base

Condition

Service In

Out

State As-Built

Connection

3 Phase

1 Phase 2W

1 Phase 3W

Load Diversity Factor

Min. 80 %

Max. 125 %

Voltage Limit

Min. 90 %

Duration 0 Cycle

Bus1

OK

Cancel

Figura 110. Editor de Bus.

3. Parametrizar los generadores:

Elemento	Potencia	FP
Generador 1	350MW	95%
Generador 2	150MW	98

Tabla 40. Parámetros de Generador 1 y 2.

Figura 111. Configuración de Parámetros de generador.

4. Parametrizar los transformadores:

Elemento	Potencia	Tensión	Impedancia
Transformador 1	100 MVA	46/115 kV	Usar Valores Típicos
Transformador 2	150 MVA	115/46 kV	Usar Valores Típicos

Tabla 41. Parámetros de transformadores.

2-Winding Transformer Editor - T1.

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic Reliability Remarks Comment

100 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C 46 115 kV

Voltage Rating kV FLA Nominal Bus kV Z Base

Prim. 46 1255 46 MVA 100

Sec. 115 502 115

Other 65

Power Rating

MVA

Rated 100

Other 65

Derated 100

% Derating 0

MFR

Alert - Max

MVA 100

☒ Derated MVA

☐ User-Defined

Installation

Altitude 3300 ft

Ambient Temp. 30 °C

Type / Class

Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

Figura 112. Configuración de parámetros de transformador.

2-Winding Transformer Editor - T1.

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic Reliability Remarks Comment

100 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C 46 115 kV

Impedance

%Z X/R R/X %X %R

Positive 6.75 34.1 0.029 6.747 0.198

Zero 6.75 34.1 0.029 6.747 0.198

Typical Z & X/R Typical X/R

Z Base

MVA 100

Other 65

Z Variation

@ -5 % Tap 6.75 0

@ 5 % Tap 6.75 0

Z Tolerance

+ 0 %

No Load Test Data (Used for Unbalanced Load Flow only)

% FLA kW % G % B

Positive 0 0 0 0

Zero 0 0 0 0

☐ Buried Delta Winding

Zero Seq. Impedance Typical Value

OK Cancel

Figura 113. Configuración de Impedancia del transformador.

5. Parametrizar las cargas:

Elemento	Potencia	FP
Carga 1	100MW	98%
Carga 2	50MW	100%

Tabla 42. Parámetros de Cargas.

6. Parametrizar la línea de transmisión media:

LINEA 1	PARAMETRO
LONGITUD (INFO)	10 KM
TIPO DE CONDUCTOR DE FASE (PARAMETER)	SISTEMA INGLES, ACSR, M LAYER, KIWI, 2167, 72 HEBRAS
TIPO DE CONDUCTOR DE TIERRA	N/A
TIPO DE CONFIGURACION (CONFIGURATION)	HORIZONTAL, ALTURA (20 M), ESPACIADO (1 M)
TRANSPOSICION	N/A
IMPEDANCIA POR FASE (IMPEDANCE)	CALCULADA
UNIDADES (IMPEDANCE)	Ohm/km
MATRIZ RESISTENCIA REACTANCIA Y ADMITANCIA (IMPEDANCE)	DOMINIO DE FASE

Tabla 43. Parámetros para Línea de Transmisión.

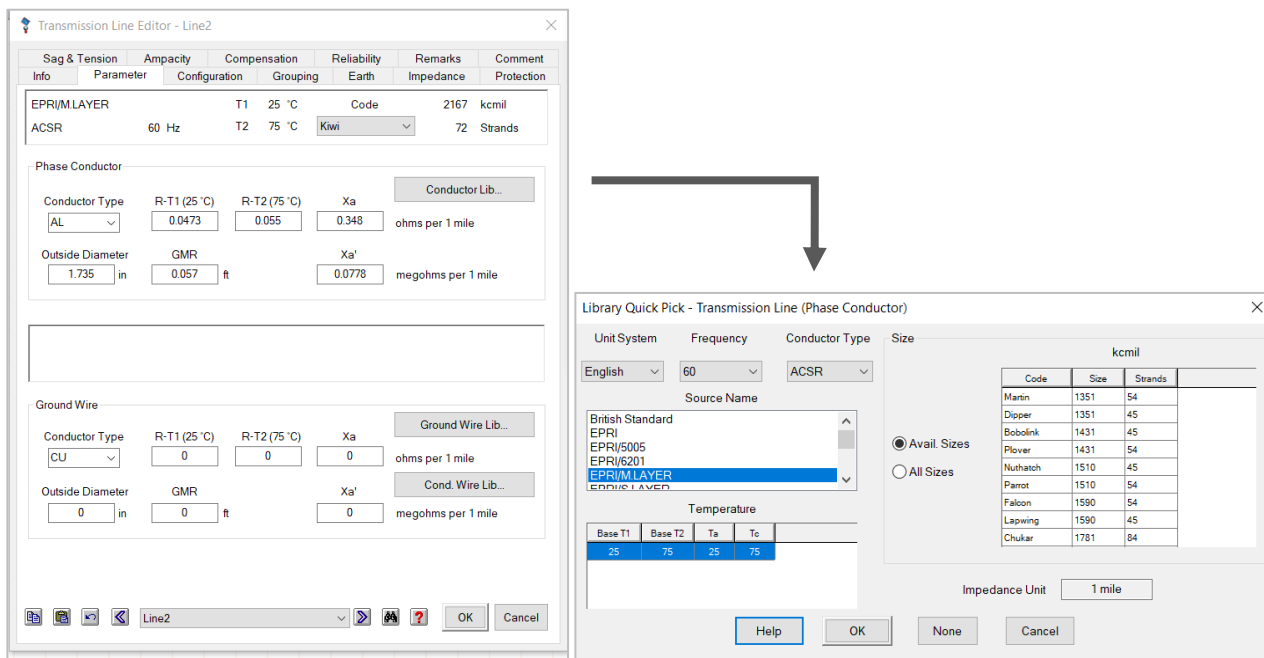


Figura 114. Parámetros de Líneas de Transmisión.

7. Simular el flujo de carga en el sistema.
8. Evaluar los perfiles de tensión y pérdidas de potencia.
9. Cambiar la distancia de la línea de transmisión media a 250 km.
10. Medir la caída de tensión y comparar con los valores teóricos.
11. Análisis de resultados.
12. Comparar los valores teóricos, simulados.
13. Discutir las diferencias encontradas y su impacto en el sistema eléctrico.

6.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. ¿Cuáles son los principales parámetros eléctricos de una línea de transmisión?

2. ¿Por qué es importante analizar la caída de tensión en una red de distribución?

3. ¿Qué ventajas tiene el uso de software de simulación en el análisis de redes eléctricas?

4. ¿Qué medidas se pueden tomar para reducir las pérdidas en una línea de transmisión?

Entregar el archivo, nombrarlo: GUIA_7_SPI_Apellidos_Nombres.

	UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA	
	FACULTAD DE INGENIERIA	
	MATERIA: DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION	PRACTICA N°8
	TEMA: MODELADO DE REDES DE DISTRIBUCION	
LUGAR DE EJECUCION: LABORATORIO DE INFORMATICA		

1.0 OBJETIVO GENERAL

- 1.1 Proporcionar a los estudiantes los conocimientos fundamentales para modelar redes de distribución eléctrica, incluyendo la representación de sus componentes y el análisis de su comportamiento mediante software especializado.

2.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Comprender la estructura y características principales de las redes de distribución.
- 2.2 Identificar y representar los componentes principales de una red de distribución.
- 2.3 Aplicar herramientas de software para el modelado y análisis de redes.
- 2.4 Interpretar los resultados obtenidos en un estudio de modelado.

3.0 MATERIAL Y EQUIPO

- 3.1 Computadora con software especializado ETAP.

4.0 INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Las redes de distribución eléctrica son sistemas encargados de llevar la energía desde los puntos de subtransmisión hasta los usuarios finales. Estas redes incluyen elementos como líneas, transformadores, bancos de capacitores, reguladores de voltaje y dispositivos de protección.

El modelado de redes de distribución consiste en representar digitalmente estos sistemas para evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones operativas. Esto permite analizar caídas de tensión, pérdidas de energía, flujos de potencia y calidad del suministro.

5.0 PROCEDIMIENTO

1. Identificar la topología de la red, niveles de tensión y componentes principales.

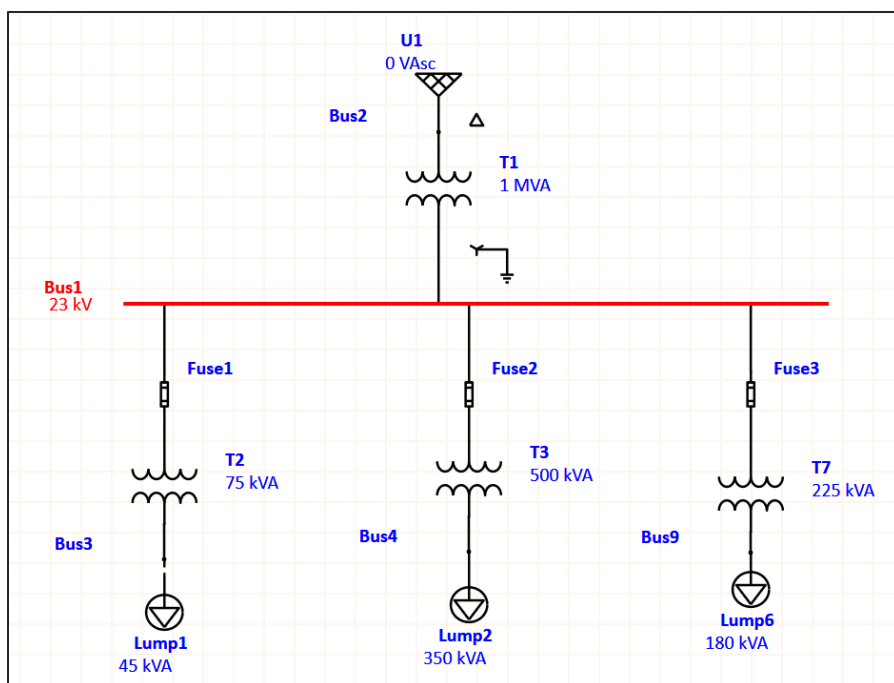


Figura 115. Diagrama de flujo de potencia de distribución.

- Introducir la información técnica de: transformadores y cargas en la plataforma elegida.

Cargas:

Elemento	Potencia	FP
Carga 1	45 kVA	85%
Carga 2	350 kVA	95%
Carga 3	180 Kva	98%

Tabla 44. Parámetros de carga.

Transformadores:

Elemento	Potencia	Tensión	Impedancia
Transformador 1	1000 kVA	46/23 kV	Usar Valores Típicos
Transformador 2	75 kVA	23/0.24 kV	Usar Valores Típicos
Transformador 3	500 KVA	23/0.24 kV	Usar Valores Típicos
Transformador 4	225 KVA	23/0.48 kV	Usar Valores Típicos

Tabla 45. Parámetros de transformador.

Calcular los fusibles con la formula:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} * 1.5 \quad (35)$$

3. Ejecutar la simulación para obtener resultados sobre tensiones, corrientes y flujo de potencia.
4. Evaluar los informes generados y determinar si la red cumple con los criterios de diseño y operación adecuados.

6.0 PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. ¿Cuáles son los principales componentes de una red de distribución?

2. ¿Por qué es importante el modelado de redes de distribución?

3. ¿Qué tipo de análisis se pueden realizar en un software de modelado de redes?

4. Mencione dos programas utilizados para modelar redes de distribución.

Entregar el archivo, nombrarlo: GUIA_8_SPI_Apellidos_Nombres.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La renovación de la licencia del software ETAP 22.5 ha permitido modernizar los laboratorios de ingeniería eléctrica con 25 licencias, asegurando que los estudiantes y docentes dispongan de herramientas actualizadas para la enseñanza, la investigación y el desarrollo de proyectos en sistemas eléctricos de potencia. Esto contribuye a mejorar la calidad de la formación académica y a fortalecer el vínculo entre teoría y práctica.

Se cumplieron los requisitos y procedimientos necesarios para la renovación de la licencia del software ETAP, destacando los beneficios y ventajas que esta actualización ofrece a la universidad y a los estudiantes en las diferentes materias de ingeniería eléctrica. Entre los principales beneficios se encuentran la mejora en la interfaz del software, precisión de simulaciones, la optimización del análisis de sistemas eléctricos y el acceso a nuevas funcionalidades que facilitan la enseñanza y el desarrollo de proyectos.

Se logró la adquisición de la licencia ETAP 22.5 con una vigencia de 2 años y medio, asegurando la disponibilidad del software en el laboratorio de ingeniería eléctrica. Además, se elaboró un manual detallado sobre el procedimiento de renovación, con el propósito de facilitar futuras actualizaciones y garantizar la continuidad en el uso del software dentro de la institución.

Se desarrollaron aplicaciones del software ETAP en el contenido de las asignaturas Sistemas de potencia I y II, Diseño de sistemas de distribución y Diseño de líneas de transmisión. Esto ha permitido que los estudiantes adquieran un conocimiento más profundo sobre la simulación y análisis de sistemas eléctricos de potencia, fortaleciendo su formación académica y profesional.

Se implementó un conjunto de prácticas en el laboratorio que permite a los estudiantes familiarizarse con el uso y manejo del software ETAP en un entorno académico. Estas prácticas han mejorado el aprendizaje práctico, fomentando el desarrollo de habilidades analíticas y técnicas esenciales para la resolución de problemas en sistemas eléctricos de potencia.

La renovación de la licencia del software ETAP 22.5 ha sido un paso fundamental para la actualización y mejora de los recursos académicos en la Universidad Técnica Latinoamericana. Este proyecto no solo ha optimizado la enseñanza en el área de sistemas eléctricos de potencia,

sino que también ha proporcionado herramientas y conocimientos esenciales para la formación de ingenieros altamente capacitados en el uso de tecnologías avanzadas en el sector eléctrico.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda gestionar periódicamente la actualización del software ETAP haciendo uso de la guía de renovación contenida en este documento para asegurar que los estudiantes y docentes tengan acceso a las últimas versiones con nuevas funcionalidades y mejoras en el análisis de sistemas eléctricos.

Es fundamental realizar capacitaciones continuas para docentes y estudiantes sobre el uso del software ETAP, con el fin de maximizar su aprovechamiento en la enseñanza y en la investigación.

Se recomienda mantener actualizado el manual de renovación de la licencia, asegurando que futuras gestiones sean más eficientes y sin contratiempos administrativos.

Continuar con el desarrollo de nuevas prácticas de laboratorio que aborden temas avanzados en sistemas eléctricos de potencia, permitiendo que los estudiantes fortalezcan sus conocimientos y habilidades técnicas.

Incentivar el uso del software ETAP en proyectos de investigación y desarrollo, promoviendo el análisis de casos reales y la aplicación de soluciones innovadoras en el ámbito de los sistemas eléctricos de potencia.

Se recomienda ofrecer cursos libres o talleres especializados en el uso del software ETAP, dirigidos a estudiantes de ingeniería eléctrica. Estos cursos pueden ser opcionales o extracurriculares y permitirán que los alumnos profundicen en el manejo del software más allá de las asignaturas regulares.

5.3 Guía para el Proceso de renovación de la licencia del software ETAP

1. Contacto con la empresa proveedora

1.1. **Empresa:** SERVICIOS TÉCNICOS DE INGENIERÍA S.A. DE C.V. (SETISA)

1.2. **Personas de contacto:** Ing. Carlos Vides o Ing. Andrés Sandoval.

Tel: +503 2521-2975 Ext. 114

Cel: 7778-3480

Correo: asandoval@setisa.com.sv

2. Validación de información institucional

2.1. Verificar que la lista de contactos de la universidad esté actualizada.

2.2. Si es necesario, completar el formulario de actualización de contactos (ver Anexos).

2.3. Enviar el formulario actualizado a SETISA.

3. Solicitud de renovación

3.1. Elaborar la carta de solicitud de renovación (ver modelo en Anexos).

3.2. La carta debe contener la firma y sello del decano de la universidad.

3.3. Enviar la carta de solicitud a SETISA.

4. Aprobación y recepción del código de activación

4.1. Esperar la confirmación de SETISA sobre la aprobación de la renovación.

4.2. Una vez aprobada, SETISA proporcionará el código de activación y los detalles de la nueva licencia (fecha de caducidad y versión del software).

5. Preparación para la instalación

5.1. Contactar al encargado del laboratorio de informática para realizar pruebas de instalación.

5.2. Verificar que se dispone de la llave de activación del software para su correcto funcionamiento en todas las licencias.

6. Descarga del software

6.1. Acceder a la página de descargas de ETAP:

[ETAP Help Center](https://helpcenter.etap.com/portal/en/signin)

Usuario: 0204621@utla.edu.sv

Contraseña: EtapTesis2024*

Se recomienda actualizar las credenciales de acceso.

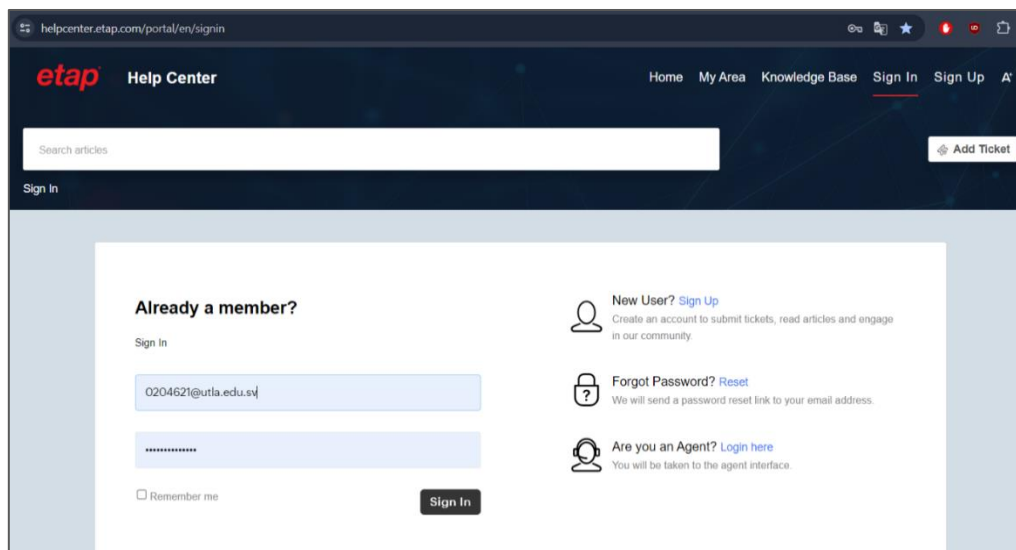


Figura 116. Help Center de ETAP.

6.2. Dirigirse a la pestaña Home y hacer clic en ETAP Downloads.

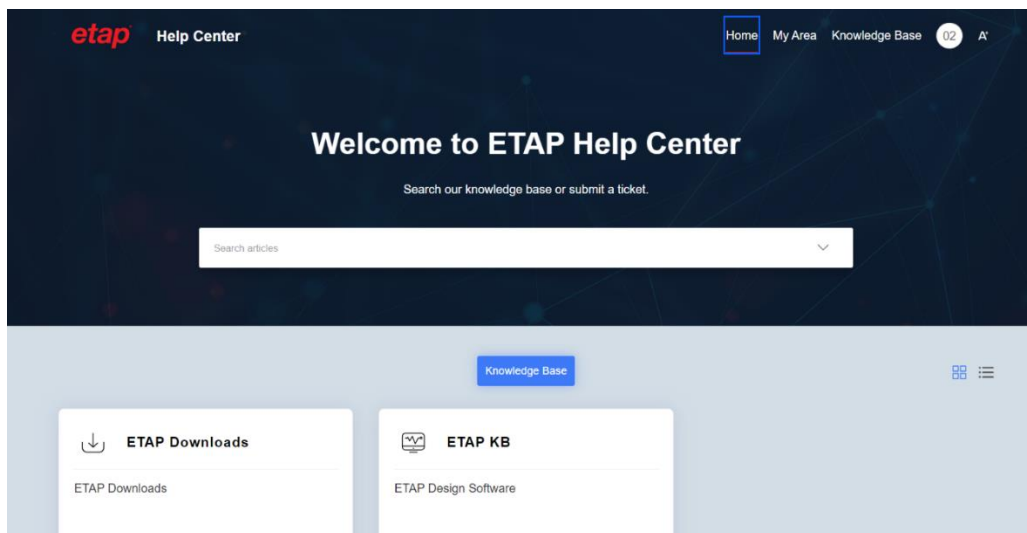


Figura 117. Entorno de Help Center de ETAP.

6.3. Seleccionar la versión de ETAP correspondiente a la renovación.

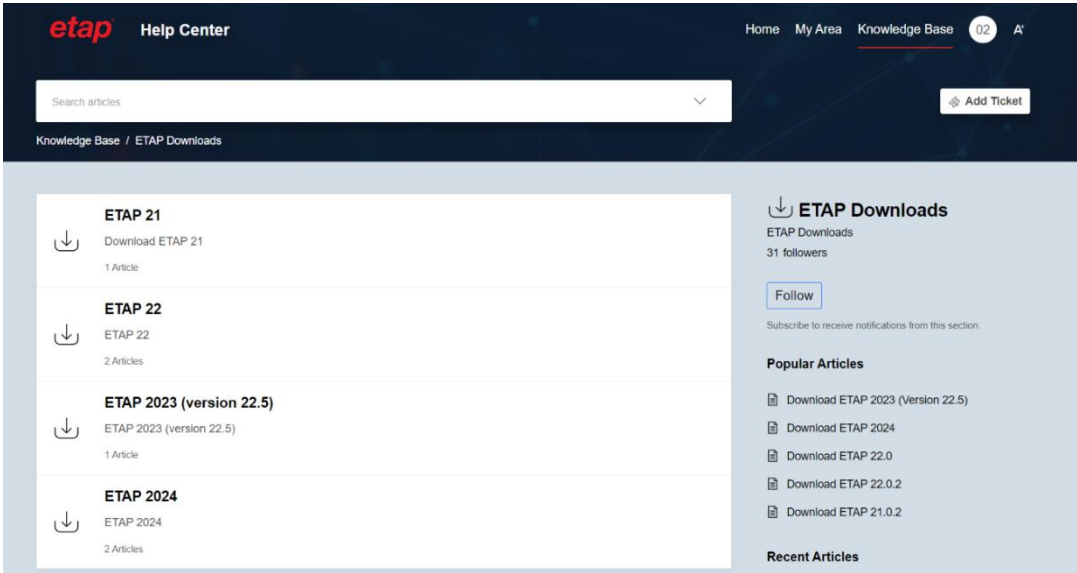


Figura 118. Centro de descargas de Help Center de ETAP.

6.4. Descargar el primer archivo **ISO.EXE**.

ETAP 22.5.0 Download					
Name	Language	ISO Format	Size	ZIP Format	Size
ETAP 22.5 - Full Release	English	ETAP2250EN-iso.exe	4.15 GB	ETAP2250EN-zip.exe	3.97 GB
ETAP 22.5 License Manager *	English	ETAP2250LM.iso	139 MB	ETAP2250LM.zip	138 MB
ETAP 22.5 NetPM Server (DXM)	English	ETAPDXM2250EN.iso	566 MB	ETAPDXM2250EN.zip	557 MB

Figura 119. Archivos de descarga de ETAP 22.5.

7. Instalación del Software

- 7.1. Ejecutar el archivo descargado e iniciar la instalación.
- 7.2. Seguir las instrucciones del asistente de instalación.
- 7.3. Ingresar el código de activación proporcionado por SETISA.
- 7.4. Confirmar que el software funcione correctamente en todas las estaciones de trabajo del laboratorio.

5.4 Bibliografía

- ABB. (s.f.). *Relés y productos electrónicos - EPR*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://library.e.abb.com/public/ce4ce95b14900679c12571a2003ef613/1TXA11R002D0701_RELES_ELECTRONICOS.pdf
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *etap*. Obtenido de etap company: <https://etap.com>
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *etap company*. Obtenido de Load Flow: <https://etap.com/load-flow>
- ETAP. (17 de octubre de 2024). *etap company*. Obtenido de Estabilidad Transitoria: <https://etapesp.es/estabilidad-transitoria>
- ETAP. (17 de octubre de 2024). *etap company*. Obtenido de Estabilidad Transitoria: <https://etapesp.es/estabilidad-transitoria>
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *Etap company*. Obtenido de aislamiento lateral de linea: <https://etap.com/product/arcblock-energy-reducing-line-side-isolation>
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *Etap company*. Obtenido de Etiquetas de arco electrico.
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *Etap company*. Obtenido de Etiquetas de arco electrico: <https://etap.com/es/arc-flash/arc-flash-hazard-safety-labels>
- ETAP. (15 de octubre de 2024). *etap solutions*. Obtenido de Grid code: <https://etap.com/es/solutions/gridcode#b8>
- ETAP. (s.f.). *Herramientas Importación y Conversión*. Obtenido de <https://etap.com/es/product/Built-in-DataX-and-Conversion-Tools>
- ETAP. (s.f.). *Star - Sequence-of-Operation*. Obtenido de <https://etap.com/product/star-sequence-of-operation>
- ETAP. (s.f.). *Transmission Line Modeling*. Obtenido de <https://etap.com/product/line-ampacity-calculation-analysis>
- Glover, J. D. (2012). *Power System Analysis and Desing*. Cengage Leraning.
- Glover, J. p. (2016). *Sarma, M. S., & Overbye, T. J. Analysis System*. McGraw - Hill.

- H., K. W. (2012). *Distribution System Modeling and Analysis*.
- Hill, S. M. (2010). *Elementos de sistemas de potencia*.
- IEEE. (s.f.). *IEEE- IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*. Obtenido de IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors
- INEL. (s.f.). *INEL-Escuela Tecnica de Ingeniería*. Obtenido de <https://inelinc.com/>
- John J, G. &. (2001). *Análisis de Sistemas de Potencia*. México.
- Kothari, D. (2008). *Sistemas eléctricos de potencia*.
- McGraw-Hill. (1994). *Power System Stability and Control*.
- Olivares, D. (2007). *Sistemas Eléctricos de Potencia*. Obtenido de Sistemas Eléctricos de Potencia: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/EL57A/1/material_docente/bajar%3Fid_material%3D128172
- Stevenson, G. (2024). *Metodo de Gauss Seidel*. North Carolina: McGraw-Hill.
- Stevenson, G. (2024). *metodo Newton Rapshon*. Mexico: McGraw-Hill.
- YANEZ, E. R. (Agosto de 2009). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. Obtenido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17625/1/UPS%20-%20ST004217.pdf>

5.5 Anexos

5.5.1 Presupuesto

PARTIDAS	CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO	SUB-TOTAL
PRESUPUESTO DE GRUPO				
1.0	Transportes (viáticos)	3	\$100.00	\$300.00
1.1	Capacitación y Certificación	4	\$448.00	\$1,792.00
1.2	Imprevistos	10%		\$209.20
TOTAL				\$2,301.20
PRESUPUESTO DE DONACION				
1.3	Licencias	25	\$14,000	\$350,000.00
1.3	Actualización de software	25	\$11,200	\$280,000.00
TOTAL				\$630,000.00

5.5.3 Carta de solicitud de renovación de ETAP

Santa Tecla, 2 de mayo 2024

Estimado encargado de las Licencias Educativas

Operation Technology, Inc.- ETAP Group of Companies

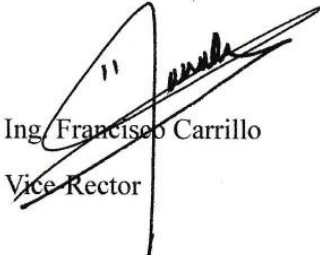
Reciban un cordial saludo de la Universidad Técnica Latinoamericana y deseándole éxitos en el desarrollo de sus actividades.

Desde el año 2021, gracias a las licencias educativas del *Software especializado para sistemas de energía-ETAP* que nos facilitaron, hemos formado a nuestros estudiantes mediante la realización de simulaciones y análisis de sistemas eléctricos de potencia tanto a nivel de transmisión como de distribución, verificación de las características y el comportamiento de máquinas eléctricas líneas de transmisión, líneas de distribución, sistemas de control automático y sistemas de energía renovables.

El 24 de abril de 2024 las licencias concedidas a la Universidad Técnica Latinoamericana expiraron, es por ello que me dirijo a usted para solicitar la concesión nuevamente de dichas licencias por 3 años. Esto nos permitirá ser altamente ilustrativos y didácticos para el desarrollo de las competencias técnico-profesionales en las diferentes cátedras que se imparten en las áreas de Electricidad, Electrónica, Energías renovables y carreras afines de nuestras Escuelas.

Esperamos que nuestra solicitud sea evaluada y puedan concedernos las licencias en favor de la formación de nuestros jóvenes.

Atentamente,


Ing. Francisco Carrillo
Vice Rector



5.5.4 Información de contactos



Contact Information Update Form

Main ETAP Contact for Serial #		Main ETAP Contact will receive all software upgrades and renewal notices			
Name:	Maynor Guillermo Reynado Rivas		Title:	Ingeniero	
Company:	Universidad Técnica Latinoamericana				
Address:	3 Av. norte y 7 calle oriente #4-2				
City:	Santa Tecla	State:	La Libertad	Zip:	15101
Country:	El Salvador				
Phone:	+503 2228 2764	Mobile:	+503 7745 2773	Email:	investigacion@utla.edu.sv

License Installation Location:		Location where the license is installed, must match users account at Help Center			
Company:	Universidad Técnica Latinoamericana				
Address:	3 Av. norte y 7 calle oriente #4-2				
City:	Santa Tecla	State:	La Libertad	Zip:	15101
Country:	El Salvador				
Phone:	+503 2228 4383	Fax:	+503 2228 4775		

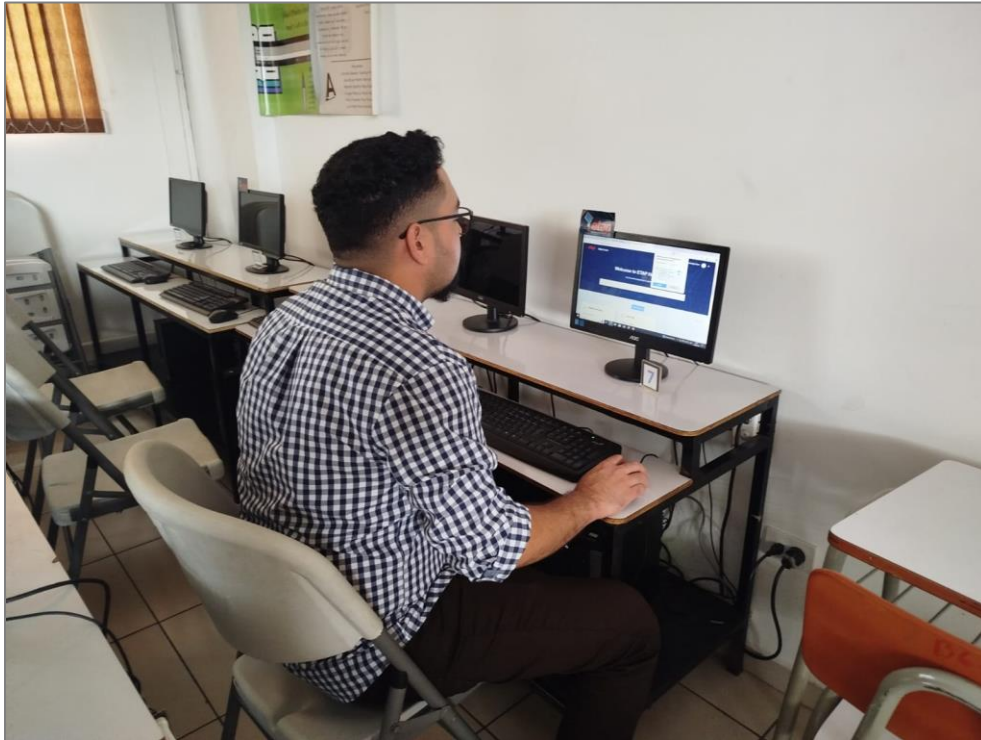
Procurement / Billing Contact:		☐ Same Address as Main ETAP Contact (please fill out contact name, title, email, telephone)			
Name:	Jorge Alberto Ramírez Hernández		Title:	Licenciado	
Company:	Universidad Técnica Latinoamericana				
Address:	3 Av. norte y 7 calle oriente #4-2				
City:	Santa Tecla	State:	La Libertad	Zip:	15101
Country:	El Salvador				
Phone:	+503 2228 4775	Mobile:	+503 7308 4648	Email:	alberto.ramirez@utla.edu.sv

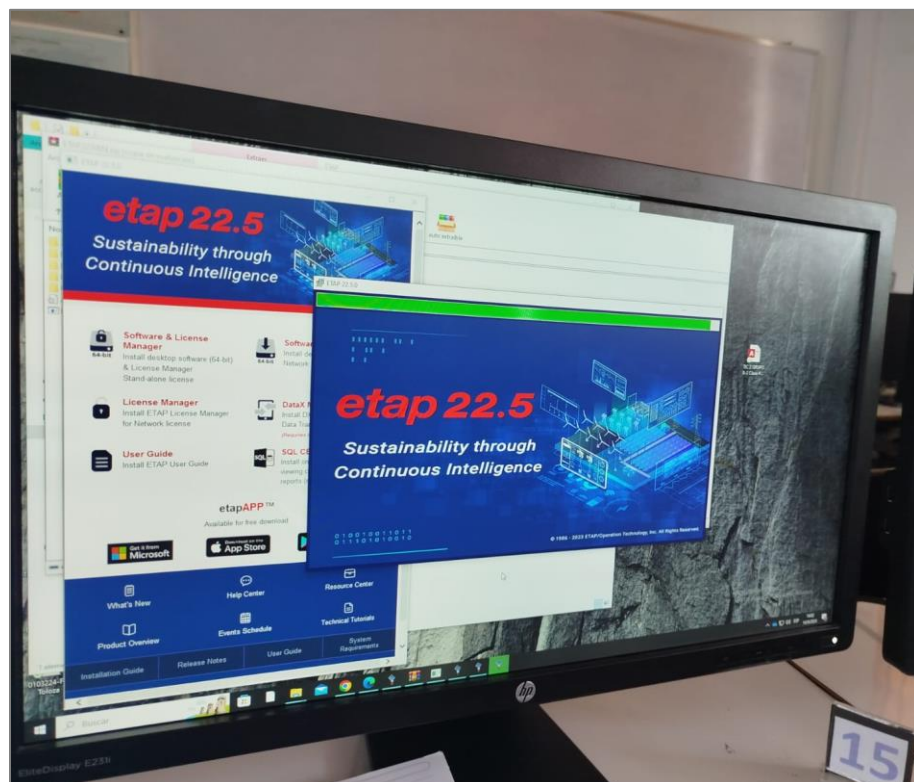
IT Contact:		☐ Same Address as Main ETAP Contact (please fill out contact name, title, email, telephone)			
Name:	José Daniel Nuñez Portillo		Title:	Técnico	
Company:	Universidad Técnica Latinoamericana				
Address:	3 Av. norte y 7 calle oriente #4-2				
City:	Santa Tecla	State:	La Libertad	Zip:	15101
Country:	El Salvador				
Phone:	+503 2228 4775	Mobile:	+503 6036 4861	Email:	lbtic@utla.edu.sv

Technical / Engineering Contact:		☐ Same Address as Main ETAP Contact (please fill out contact name, title, email, telephone)			
Name:	Walter Ernesto de León Elías		Title:	Técnico	
Company:	Universidad Técnica Latinoamericana				
Address:	3 Av. norte y 7 calle oriente #4-2				
City:	Santa Tecla	State:	La Libertad	Zip:	15101
Country:	El Salvador				
Phone:	+503 2228 4775	Mobile:	+503 7098 8754	Email:	walter.deleon@utla.edu.sv

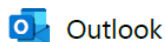
Please return to sales@etap.com or this can be faxed to (949) 462-0200.

5.5.5 Instalación y prueba de software ETAP 22.5 en laboratorio de informática





5.5.6 Entrega de licencias renovadas de ETAP 22.5



Re: Solicitud de Uso de Laboratorio y Apoyo Técnico para Instalación de ETAP

Desde KEVIN ALEXIS ORELLANA CUELLAR <0200221@utla.edu.sv>

Fecha Sáb 21/09/2024 14:36

Para Grace Belén Martínez Flores <0204621@utla.edu.sv>; Maynor Guillermo Reynado Rivas <investigacion@utla.edu.sv>

CC MORALES HERNANDEZ LUIS ALBERTO <luis.morales.hernandez@utla.edu.sv>; BRENDA LY CRISTABEL HERNANDEZ DIAZ <0204120@utla.edu.sv>

Buenas tardes Ing. Reynado

Quiero comentarle que el día 14 de septiembre logramos realizar con éxito la instalación de las 25 licencias del software ETAP versión 22.5 quedando habilitadas para dar inicio a las prácticas de laboratorio para los estudiantes de ingeniería eléctrica. Más adelante nos estaremos comunicando cuando demos inicio a los primeros laboratorios.

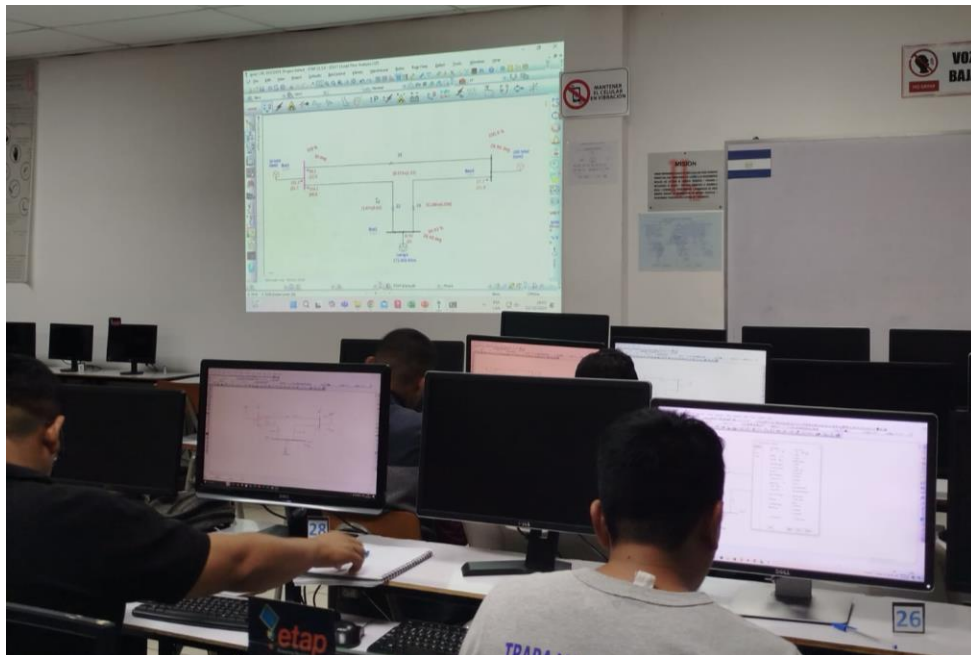
Aprovecho para mencionarle que la llave para poder usar el software la guardo el Técnico. Walter de León.

Gracias por su apoyo.

Cordialmente,
Alexis Orellana.

5.5.7 Desarrollo de prácticas de laboratorio





5.5.8 Asistencia de alumnos a prácticas de laboratorio de ETAP 22.5.

UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA

LISTA DE ASISTENCIA

22/10/24

LABORATORIO 1-SISTEMAS DE POTENCIA II

ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA: INTRODUCCION AL SIMULADOR ETAP Y APLICACIÓN DEL METODO ITERATIVO GAUSS-SEIDEL Y NEWTON RAPHSON

#	CARNET	ALUMNO	FIRMA
1	0202218	AGUIRRE FLORES MARIANO ALBERTO	
2	0203919	AMAYA ANZORA DANIEL ALEXANDER	
3	0203323	BERCIANO HERNANDEZ AARON ALFONSO	
4	0205920	GONZALEZ VENTURA MOISES ERNESTO	
5	0200512	HERNANDEZ ESQUIVEL MILTON MARCELO	
6	0203020	LOPEZ DE MONTES MAYRA LISSETH	
7	0202111	MARROQUIN ESCOBAR DANIEL ULISES	
8	0200120	RODRIGUEZ MARTINEZ CRISTIAN ALEXANDER	
9	0201022	SALINAS NAVAS GABRIEL EDUARDO	
10	0202020	VALDEZ CARCAMO MAURICIO ERNESTO	
11	0206020	VALIENTE TORRES SALVADOR ENRIQUE	
12	0205219	VELIS VELASCO MARLON ANTONIO	

INSTRUCTORES	FIRMA
GRACE BELEN MARTINEZ FLORES	
BRENDALY CRISTABEL HERNANDEZ DE DIAZ	
KEVIN ALEXIS ORELLANA CUELLAR	

5.5.9 Características del Software

Software ETAP Versión 22.5

Tipo De Licencia: Educativa

Universidad Técnica (UTLA)

New EDU. Power Lab 25 Bus, 25 User LAN

Serial# UTLAPL

Key#17450

No	NUMERO DE COMPUTADORA
1	PC -01
2	PC -03
3	PC -05
4	PC -06
5	PC -07
6	PC -09
7	PC -11
8	PC -12
9	PC -15
10	PC -16
11	PC -17
12	PC -19
13	PC -21
14	PC -23
15	PC -24
16	PC -26
17	PC -27
18	PC- 28
19	PC -31
20	PC -32
21	PC -34
22	PC -42
23	PC -44
24	PC -46