



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

**HERRAMIENTA PARA EL AUTOAPRENDIZAJE DE TRANSITORIOS  
ELECTROMAGNÉTICOS EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEDIANTE EL USO DE PSCAD**

**Autor: Barbero Hernández, Bárbara**

**Tutor: Riesco Sanz, Manuel Vicente**

**Valladolid, Diciembre 2017**

## ***AGRADECIMIENTOS***

### **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quisiera agradecer a Manuel Riesco la oportunidad que me ha brindado para realizar este proyecto, la confianza depositada en mí y la paciencia durante el desarrollo del mismo.

A mis padres y a mi hermano, porque sin su confianza no hubiera tirado nunca hacia adelante. Y por supuesto al resto de mi familia, mis abuelos, mis tíos, mis primos...

A ti, Alex, porque tu apoyo durante este año ha sido todo para mí.

A todos mis profesores, desde el colegio hasta la universidad por todo lo que he aprendido gracias a vosotros.

A mis amigas de siempre, Miriam, Mónica, Marta...

A Israel y Eduardo, sin ellos nunca hubiera conseguido llegar a ser ni la mitad de lo que soy hoy.

Y a mis compañeros, Luis, Jorge, Ramón, Lore, Isa, Elena, Piru... todos. Sois y seréis siempre una gran parte de mí.

Gracias. Muchas gracias.

## ***AGRADECIMIENTOS***

**RESUMEN**

El presente estudio desarrollado como requisito de Trabajo Final de Grado de la Universidad de Valladolid, ha tenido como objetivo fundamental el desarrollo de un video tutorial que tendrá aplicaciones como herramienta para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica mediante el uso de PSCAD, en el convencimiento de la importancia cada vez más aceptada que presentan las Tecnologías de la Información y la Comunicación, TIC, en la actualidad de la educación. Tales preceptos han sido concretados en la Declaración de Bolonia, documento signado por los ministros europeos de Educación a principios del siglo XXI, para establecer métodos comunes tendentes a incrementar la competitividad del sistema educativo europeo y por consiguiente de sus alumnos, asumiendo retos creativos e innovadores en materia de enseñanza y aprendizaje, en donde los tutoriales se asumen como herramientas de divulgación de conocimiento cada vez más utilizadas, por su sencillez y facilidad de uso. El trabajo es de tipo documental descriptiva, que ha implicado la revisión de un extenso material escrito y audiovisual para generar el producto tenido como objetivo, un video tutorial para la enseñanza de la aplicación de un programa de simulación de aplicación en sistemas eléctricos. El resultado del estudio ha tenido un final satisfactorio con el diseño y elaboración de una herramienta educativa sencilla, fácil de comprender y de aplicar.

**Palabras clave:** simulación, transitorios electromagnéticos, PSCAD, sistemas de energía eléctrica, video tutorial.

**ABSTRACT**

The present research study developed as a requirement of Final Degree Work of the University of Valladolid, has had as fundamental objective the development of a video tutorial that will have applications as a tool for self-learning electromagnetic transients in electrical energy systems through the use of PSCAD, in the conviction of the increasingly accepted importance presented by the Technologies of Information and Communication, ICT, in education today. These principles have been concretised in the Bologna Declaration, a document signed by the European ministers of Education at the beginning of the 21st century, in order to establish common methods to increase the competitiveness of the European education system and consequently of its graduates, taking on creative and innovative challenges in terms of teaching and learning, where tutorials are assumed as increasingly popular knowledge dissemination tools, for their simplicity and ease of use. The research is descriptive documentary type, which has involved the revision of an extensive written and audiovisual material to generate the product aimed like objective, a video tutorial for teaching the application of an application simulation program in electrical systems. The result of the study has had a satisfactory ending with the design and elaboration of a simple educational tool, easy to understand and to apply.

**Keywords:** simulation, electromagnetic transients, PSCAD, electrical power systems, video tutorial.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Nº Pág.</b>
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>Introducción</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA</b>	<b>17</b>
1.1. Planteamiento del problema.	17
1.2. Objetivos del trabajo.	18
1.2.1. Objetivo general.	18
1.2.2. Objetivos específicos.	19
1.3. Justificación del trabajo.	19
<b>CAPÍTULO 2. SELECCIÓN EL SOFTWARE</b>	<b>23</b>
2.1. PSCAD.	23
2.1.1. Características básicas	24
2.1.2. El entorno gráfico.	25
2.1.3. Las librerías de componentes	27
2.2. MATLAB.	30
2.2.1. Características básicas.	31
2.2.2. El entorno gráfico.	31
2.2.3. Las librerías de MATLAB.	33
2.2.4. Limitaciones de MATLAB	36
2.3. Simulink.	37
2.3.1. El entorno gráfico.	37
2.3.2. Las librerías de Simulink.	38
2.3.2.1. Librería “continuous” (Continuo).	38

	<b>Nº Pág.</b>
2.3.2.2. Librería Operadores (“Math Operations”)	40
2.3.3. Instalación y conexión de un bloque operacional.	43
2.3.4. Especificaciones de un bloque operacional.	43
2.4. Comparativa y conclusiones.	43
2.5. Programas de video.	47
<b>CAPÍTULO 3. MÓDULOS DEL SOFTWARE</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 4. PROGRAMAS DE VIDEOS</b>	<b>59</b>
4.1. Camtasia Studio 7.	59
4.2. Camtasia Recorder.	60
4.3. Camtasia Studio Editor.	60
4.4. Camtasia Menu Maker.	63
<b>CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE AUTOAPRENDIZAJE</b>	<b>65</b>
5.1. Ejercicio N° 1.	74
5.1.1. Ejercicio 1A. Quitar una carga.	97
5.1.2. Ejercicio 1B. Añadir un interruptor.	99
5.2. Ejercicio N° 2.	103
5.3. Ejercicio N° 3.	112
5.4. Ejercicio N° 4.	117
5.5. Ejercicio N° 5.	127
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS</b>	

**ÍNDICE DE CUADROS**

	<b>Nº Pág.</b>
Cuadro 1. Matemáticas Básicas de Matlab.	33
Cuadro 2. Formatos de Visualización de Números.	34
Cuadro 3. Variables Especiales de Matlab.	35
Cuadro 4. Comparativa de cada programa.	44
Cuadro 5. Hardware y Programas para la Instalación de PSCAD.	65





**ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS**

	<b>Nº Pág.</b>
Figura 1. Entorno gráfico de PSCAD.	26
Figura 2. Entorno gráfico detallado	27
Figura 3. Librerías de PSCAD accesibles desde Master Library.	28
Figura 4. Espacio de trabajo de MATLAB.	32
Figura 5. Ventana Workspace.	32
Figura 6. Ventana Command History.	33
Figura 7. Librerías (Izquierda) y Espacio de Trabajo de Simulink. (Derecha).	38
Figura 8. Librería Continuous.	39
Figura 9. Bloques Operacionales.	39
Figura 10. Especificaciones del Bloque Derivative.	40
Figura 11. Librería Math Operations.	41
Figura 12. Bloques de la Librería Math Operations.	41
Figura 13. Biblioteca Maestra de PSCAD.	51
Figura 14. Elementos Pasivos.	53
Figura 15. Fuentes.	53
Figura 16. Entrada/Salida.	54
Figura 17. Breakers y Fallas.	54
Figura 18. Electrónica de Potencia.	55
Figura 19. Funciones de Control de CSMF.	56
Figura 20. Maquinas.	56
Figura 21. Transformadores.	57
Figura 22. Líneas de Transmisión y Cables.	58
Figura 23. Camtasia Studio.	59
Figura 24. Barra de Herramientas de Camtasia Recorder.	60
Figura 25. Cuadro de Diálogo Editing Dimensions.	61
Figura 26. Menú de Producción Camtasia Studio.	63

	<b>Nº Pág.</b>
Figura 27. Camtasia Menu Maker.	64
Figura 28. Programa PSCAD.	67
Figura 29. Menú del PSCAD.	68
Figura 30. PSCAD Button.	69
Figura 31. New.	70
Figura 32. New Case.	70
Figura 33. Área de Trabajo PSCAD.	71
Figura 34. Save Project As.	72
Figura 35. Ejemplo.pscx y Ejemplo.psmx.	72
Figura 36. Workspace.	73
Figura 37. Circuito de CA del Ejercicio1.	74
Figura 38. Comando New.	75
Figura 39. Comando New Case.	75
Figura 40. Nombre del Nuevo Proyecto Ejercicio1.	76
Figura 41. Área de Trabajo del Nuevo Proyecto Ejercicio1.	76
Figura 42. Pasos para Grabar Ejercicio1.	77
Figura 43. Ejercicio1 grabado en la Biblioteca de Documentos.	77
Figura 44. Icono de Ejercicio1 en Master Library.	78
Figura 45. Apertura de Master Library en Ejercicio1.	79
Figura 46. Edición de Parámetros para la Fuente.	80
Figura 47. Magnitudes de la Fuente.	80
Figura 48. Fuente de Tensión Parametrizada.	82
Figura 49. Resistencia e Inductor en el Área de Trabajo.	83
Figura 50. Unión de Componentes usando Herramienta Wire.	84
Figura 51. Aterramiento del Sistema.	84
Figura 52. Colocación de Medidores.	85
Figura 53. Asignación de Nombres de Variable Ea.	86
Figura 54. Asignación de Magnitudes de Variable Ea.	86

	<b>Nº Pág.</b>
Figura 55. Asignación de Nombres de Variable Iout.	87
Figura 56. Asignación de Magnitudes de Variable Iout.	87
Figura 57. Apertura de Ventana de Graficación.	88
Figura 58. Generación de Gráficas de cada Variable.	89
Figura 59. Generación de las Gráficas de cada Variable.	90
Figura 60. Generación de las Gráficas de cada Variable.	90
Figura 61. Generación de las Gráficas de cada Variable.	91
Figura 62. Parametrización de Gráficas de cada Variable.	92
Figura 63. Comienzo del Proceso de Simulación.	92
Figura 64. Pulsado del Comando Run.	93
Figura 65. Aparición de las Gráficas de las Variables.	93
Figura 66. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas.	94
Figura 67. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas.	95
Figura 68. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas.	95
Figura 69. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas.	96
Figura 70. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas.	96
Figura 71. Circuito Eléctrico sin la Resistencia R.	97
Figura 72. Simulación de Circuito sin Resistencia R.	98
Figura 73. Simulación de Circuito Eléctrico sin Bobina L.	98
Figura 74. Circuito Eléctrico con Breaker Cerrado.	100
Figura 75. Datos Técnicos del Elemento Breaker.	101
Figura 76. Simulación del Circuito con Breaker Cerrado.	101
Figura 77. Circuito Eléctrico con Breaker Abierto.	102
Figura 78. Simulación de Circuito con Breaker Abierto.	103
Figura 79. Circuito DC tipo RC de Ejercicio2.	104
Figura 80. Componentes del Circuito RC y Medidores en Área de Trabajo.	106
Figura 81. Asignación de Nombres y Magnitudes de Variables.	107
Figura 82. Magnitudes de las Variables.	108
Figura 83. Preparación de las Ventanas de Graficado.	109

	<b>Nº Pág.</b>
Figura 84. Preparación de las Ventanas de Graficado.	110
Figura 85. Gráficas de las Variables.	111
Figura 86. Gráfica de las Variables con Escalas Diferentes.	111
Figura 87. Circuito Rectificador con Carga Pasiva RL.	112
Figura 88. Magnitudes de la Fuente de Tensión.	113
Figura 89. Presentación del Circuito en Área de Trabajo.	114
Figura 90. Asignación de Nombres y Magnitudes de Variables.	114
Figura 91. Magnitudes de Medidores.	115
Figura 92. Proceso de Graficado de Variables.	115
Figura 93. Gráficas de las Variables.	116
Figura 94. Gráficas de las Variables a Diferentes Escalas.	116
Figura 95. Gráficas de las Variables a Diferentes Escalas.	117
Figura 96. Circuito Rectificador Media Onda con Carga Resistiva.	119
Figura 97. Circuito Rectificador Media Onda con Carga Resistiva - Inductiva.	119
Figura 98. Nombres y Magnitudes de Variables y Medidores Ejercicio 4A.	121
Figura 99. Gráficas de las Variables.	122
Figura 100. Nombres y Magnitudes de Variables y Medidores Ejercicio 4B.	125
Figura 101. Gráficas de Variables.	125
Figura 102. Resultados de la simulación de un rectificador de media onda con carga inductiva-resistiva.	126
Figura 103. Circuito RLC con Breaker incorporado.	127
Figura 104. Dibujo del Circuito Eléctrico en el Área de Trabajo de Ejercicio5.	128
Figura 105. Características Técnicas de la Fuente de Tensión.	129
Figura 106. Características Técnicas del Breaker.	130

## *ÍNDICE*

	<b>Nº Pág.</b>
Figura 107. Características Técnicas de los Medidores.	131
Figura 108. Preparación de Gráficas para el Proceso de Simulación.	131
Figura 109. Resultados de la Simulación.	132



### INTRODUCCIÓN

La Unión Europea en su afán de crear fundamentos comunes para todos los países que la conforman se abocó al tema educativo con miras a sembrar las bases que permitieran homologar los estudios de nivel superior para alcanzar la integración en materia de formación profesional a todo nivel. El 18 de septiembre de 1988 se reúnen amplios sectores de la comunidad universitaria europea en Bolonia, para celebrar el IX centenario la universidad de la ciudad y encontrándose allí firman la *Magna Charta Universitatum* (Carta Magna Universitaria) que marcó el comienzo de las transformaciones del sistema educativo de Europa, sentando las bases fundamentales de tal reforma desde los principios de “(...) libertad de investigación y enseñanza, la selección de profesorado, las garantías para el estudiante y el intercambio entre universidades (el programa ERASMUS)”. (Cuenca, 2013, p.123)

En el año 1997, se lleva a cabo la Convención de Lisboa donde fueron reconocidas las cualificaciones obtenidas en educación superior en Europa por parte de los miembros del Consejo Europeo, dando lugar posteriormente a la Declaración de La Sorbona, suscrita en París por los ministros de Educación de Francia, Alemania, Italia y el Reino Unido quienes plantearon la necesidad de desarrollar un Espacio Europeo de la Educación Superior, EEES, cuyos objetivos prioritarios, según reseña Cuenca (2013), fueron entre otros:

(...) facilitar a los universitarios el acceso a una mayor variedad de programas y disciplinas, un mayor perfeccionamiento de los idiomas y de las **habilidades en tecnologías de la información**, fomentar el reconocimiento internacional de la titulación basada en ciclos y alentar la estancia de estudiantes y personal docente en centros ubicados fuera del país de origen. (p. 123).

La concreción para este nuevo espacio europeo se hace realidad. El 19 de junio de 1999, cuando 29 países representados por sus ministros de Educación, España incluida, suscribieron la Declaración de Bolonia donde se sientan las bases para la construcción del



Espacio Europeo de la Educación Superior. Entre las iniciativas allí establecidas como bases rectoras, se pueden señalar:

(...) la adopción de un sistema de titulaciones fácilmente comprensible y comparable", dividiendo las carreras en "dos ciclos principales": un primer ciclo de al menos tres años que permitiría obtener el título de grado y un segundo ciclo que permitiría obtener la maestría y el doctorado. (Alonso, 2009, párr. 4).

Una vez culminado el Proceso de Bolonia en 2010, se han incorporado progresivamente 46 países adaptando la normativa de enseñanza que permite lograr los principios concebidos para una mayor integración en el sistema de educación superior (Palarea y Torres, 2005), de forma tal que los profesionales de un país perteneciente a la comunidad europea tengan la posibilidad de elaborar, de acuerdo con sus competencias profesionales, en cualquier otro, sin estar en situación de desventajas.

Este gran avance de integración entre las naciones europeas en un tema tan delicado e importante como lo es la educación, y en concreto la educación superior, permite ampliar las posibilidades en el uso de las herramientas necesarias de formación en el contexto enseñanza aprendizaje, modernización, rompiendo el *corsé* de fuerza de la educación tradicional unidireccional, para proponer la libertad de elección de las metodologías educativas, en un abanico que va desde el método expositivo o de lección magistral hasta el aprendizaje cooperativo. Con este marco se diversifican también los instrumentos de uso educativo.

El uso de tutoriales como herramientas audiovisuales que guían de forma dinámica y divertida los procesos de aprendizaje se ha ido convirtiendo en una herramienta de mayor uso cada vez, por las ventajas que ofrece, como son: el dinamismo de las lecciones, la posibilidad de repetir segmentos del tema en caso de necesidad en cualquier momento, la posibilidad de aprendizaje sin tutores, su utilización en cualquier tiempo y lugar.

## ***INTRODUCCIÓN***

Desde esta posibilidad el presente trabajo enmarcado en el campo técnico de la ingeniería eléctrica se propone como objetivo central el desarrollo de un video tutorial como herramienta para el auto aprendizaje sobre el comportamiento de los entornos de transitorios electromagnéticos a partir del uso de un programa de simulación, el *Power System CAD*, PSCAD, programa para la simulación de circuitos eléctricos. La orientación del trabajo es la de proveer en este apartado técnico científico, una herramienta de aprendizaje sencilla, en un entorno gráfico, para personas que deseen y necesiten acercarse a este conocimiento.

La estructura del documento que recoge los fundamentos del trabajo a desarrollar ha sido prefijada de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Valladolid sobre Trabajos de fin de Grado, que propone los apartados tal como se detallan a continuación:

- **Introducción.** Presentación del tema del trabajo para adentrar al lector en el mismo, señalando los objetivos y la metodología de elaboración del documento.
- **Planteamiento del problema.** Argumentos que dan origen a las preguntas del trabajo, con la propuesta de los objetivos, la justificación e importancia y la delimitación o acotación del tema.
- **Selección del software.** Evaluación de diferentes tipos de software de simulación de sistemas eléctricos, comparación y elección.
- **Módulos del software elegido.** Presentación del funcionamiento del software en modelo tutorial.
- **Elección del sistema de videos de soporte del tutorial.** Evaluación de las características de diversos programas de edición de videos y selección.
- **Diseño de la herramienta de autoaprendizaje.** Diseño y presentación de la herramienta de autoaprendizaje, video tutorial, con ejemplos concretos de funcionamiento del software elegido.

## *INTRODUCCIÓN*

- **Conclusiones.** Presentación del conocimiento o de las certezas verificadas derivadas del trabajo.
- **Referencias bibliográficas.** Material de investigación documental utilizado.
- **Anexos.** Materiales complementarios y de apoyo en el trabajo.

## **CAPÍTULO 1**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El mundo de las comunicaciones ha vivido una transformación y crecimiento gigantesco en los últimos veinte años, lográndose grandes avances en el campo de las redes y las tecnologías que sirven de aplicación en los distintos equipos donde éstas pueden ser usadas, tales como ordenadores de mesa o portátiles, así como en los diversos dispositivos móviles que han invadido mercados y nuestras vidas: las tablets y los teléfonos móviles, con los cuales se recurre al envío y recepción de datos e información en distintas formas. Estas tecnologías son conocidas como Tecnologías de la Información y la Comunicación, TIC, por sus siglas en español.

Su uso ha pasado, con el paso de los años y de sus respectivos adelantos, de ser un conjunto de herramientas para el aprovechamiento en el campo de trabajo y en la vida cotidiana a ser aprovechado en el campo de la educación, gracias tanto a la facilidad de manejar grandes cantidades de material didáctico como al hecho de poder desarrollar un sinnúmero de aplicaciones educativas.

Palomo, Ruiz y Sánchez (2006) indican que el uso de las TIC otorga posibilidades al alumnado de pasar de una actitud pasiva a replantearse “(...) no sólo acceder a la información, sino también saber "crear" conocimiento basado en dicha información (...) Deben saber filtrar, seleccionar, valorar, criticar, desechar, utilizar adecuadamente (...) dicha información, a la que tienen acceso desde sus puestos educativos” (p. 12), viéndose el alumnado continua y constantemente dispuesto a plantearse iniciativas que les permitan acometer las acciones que hagan posible el salto cualitativo y cuantitativo de calidad que se espera.

El uso de las TIC, por su vasto alcance y extraordinarias posibilidades de manejo de grandes volúmenes de datos e información en todos los niveles del conocimiento, su accesibilidad en términos de economía y su inmediatez, representa en el presente una herramienta extraordinaria en el campo educativo, constituyéndose en elementos fundamentales para el logro de significativas reformas educativas de amplio espectro.

La gerencia o dirección educativa requiere asumir el rol de liderazgo para la transformación de la educación, y poder así colocarse a la altura de los retos de un mundo altamente dinámico, globalizado y competitivo, debiendo recurrir al uso de las TIC entendiendo su potencial y complejidad y haciendo estas herramientas no sólo accesibles al alumnado, sino también comprometiendo al profesorado en su dominio, a efectos de estar a la altura de los requerimientos necesarios y exigidos.

En el ámbito de la Ingeniería Eléctrica es mucho el conocimiento técnico que se maneja y se hace pertinente, por los riesgos que entraña la parte operativa laboral, simular los comportamientos de los sistemas eléctricos para evaluar posibilidades y resultados antes de llevar los proyectos a la concreción práctica. Y para obtener resultados satisfactorios es necesario manejar las herramientas de simulación con conocimiento de causa.

En ese sentido se ha considerado oportuno proponer el desarrollo de una herramienta de autoaprendizaje a través de un video tutorial para el aprendizaje de la simulación de transitorios electromagnético a través del programa PSCAD, en un entorno gráfico de manejo sencillo y amigable. Este programa “(...) integra herramientas de representación de variables, medidores, elementos de control y modelos de componentes eléctricos” (Carrillo, 2004, p.3), y su utilización puede ser de suma utilidad para las personas que se manejen en esta área.

### **1.2. Objetivos del trabajo.**

#### **1.2.1. Objetivo general.**

Desarrollar un video tutorial como herramienta para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica mediante el uso de PSCAD.

## 1.2.2. Objetivos específicos.

1.2.2.1. Evaluar las potencialidades, ventajas y desventajas de programas de simulación de sistemas eléctricos.

1.2.2.2. Analizar las características de distintos programas de edición de videos con fines educativos.

1.2.2.3. Diseñar el programa para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos haciendo uso del programa de simulación elegido.

1.2.2.4. Elaborar el video tutorial para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos haciendo uso del programa de simulación elegido.

## 1.3. Justificación del proyecto

La necesidad de la Unión Europea de estar a la cabeza del mundo, tanto en el ámbito económico como el tecnológico y cultural, ha conducido a sus ministros de educación a tener que reunirse y emitir la Declaración conjunta de los Ministros Europeos de Educación el 19 de junio de 1999 en la ciudad de Bolonia, Italia, de donde se recoge como propósito central el siguiente postulado:

Debemos apuntar, en particular, hacia el objetivo de incrementar la competitividad del sistema Europeo de educación superior. Puesto que la validez y eficacia de una civilización se puede medir a través del atractivo que tenga su cultura para otros países, necesitamos asegurarnos de que el Sistema de Educación Superior Europeo adquiera un grado de atracción mundial igual al de nuestras extraordinarias tradiciones culturales y científicas. (p. 1).

La declaración de Bolonia se planteó entre sus principales objetivos lograr una importante movilidad tanto de profesores como de estudiantes, a fin de incrementar la competitividad del sistema educativo europeo y por consiguiente de sus alumnos. Se decidió en ese momento plantearse un plazo prudencial hasta el final de la primera década del tercer milenio para alcanzar como objetivos, según se observa en un documento emanado de la Universidad de Valladolid (2005) “

- Adoptar un sistema de titulaciones fácilmente equiparable.
- Separar las titulaciones en dos ciclos: Grado (4 años) y Posgrado (2 años).
- Establecer un sistema de créditos homogéneo”. (p. 1).

En correspondencia con la Declaración de Bolonia, se emite el REAL DECRETO 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. En este documento oficial se contempla taxativamente:

(...) la ordenación de las enseñanzas oficiales universitarias adaptadas al Espacio Europeo de Educación Superior, la estructura a la que deben adaptarse las enseñanzas universitarias conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional y las directrices que las Universidades deben seguir para la elaboración de los planes de estudio de las enseñanzas universitarias oficiales de Grado y Máster. (Universidad de Salamanca, 2016, párr. 1).

Dentro de las principales medidas que se contemplan a partir de la Declaración de Bolonia (1999) en el desarrollo educativo del Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, se encuentra el nuevo método de enseñanza que postula una distinta manera:

(...) de enseñanza y aprendizaje. Se apuesta por el concepto de "aprender a aprender" más que por la mera acumulación de conocimientos. Se potencia la docencia presencial más participativa y la docencia no presencial como aprendizaje autónomo del alumno/a mediante búsqueda de información, trabajos en grupo o en-línea, esfuerzo de estudio. (Universidad Nebrija, 2017, párr. 3).

Se da mayor importancia a la tutorización, la evaluación continuada, la elaboración de trabajos y proyectos ya sean individuales o en grupo y la utilización de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), con orientación a una concepción de formación profesional y humana, que complete y cubra las potencialidades del individuo, dentro del marco de lo pretendido en el EEES. El objetivo supremo, de acuerdo con lo recogido por la Universidad Nebrija (2017), es “Mediante estas líneas pedagógicas (...) potenciar el concepto de "Long Life

Learning" (aprendizaje a lo largo de la vida) y la atención a los diferentes y cambiantes perfiles del alumnado". (párr. 3).

En el nivel de desarrollo actual que se encuentra el mundo respecto a las TIC resulta inconcebible una educación alejada del mundo de las multimedia, siendo necesario, en consecuencia conocer las formas con que las nuevas tecnologías permiten impulsar y apoyar los procesos de aprendizaje. En este amplio campo de herramientas posibles se puede asumir el video tutorial, el cual es una guía paso a paso, elaborada de manera sencilla y con pantallas para la concepción dinámica de la enseñanza - aprendizaje. Posee como ventaja el uso de recursos con varios canales abiertos: visuales y auditivos, y la posibilidad de regresar a puntos anteriores para repetir la información hasta su total comprensión, tantas veces como lo desee el usuario, para lograr la competencia o habilidad deseada o requerida por otro ente externo a él.

El tutorial constituye un método que facilita la transmisión de conocimientos por un medio donde el estudiante asume el ritmo y el control del momento de su aprendizaje, exigiendo de él, el dominio de herramientas informáticas de software e incluso lenguajes de programación, sin que ello signifique la exclusión del docente, quien por el contrario debe estar en capacidad de profundizar más sobre el tema que se trate, siendo por ello fundamental que el docente esté familiarizado con el uso de herramientas informáticas y desarrolle o conozca material adecuado para el tema seleccionado

De allí que el video tutorial se haya convertido en una herramienta de mayor importancia cada vez en materia formacional. Tapia y Álvarez (2017) señalan que "Partiendo de estas características, se puede decir que los video tutoriales son elementos multimedia que permiten la parte informativa del proceso de aprendizaje de una manera dinámica que atrae al alumno para seguirlo como guía en algún proceso" (p. 2). Como herramientas para la enseñanza dan la posibilidad de repasar contenidos tantas veces como sea necesario hasta lograr el dominio del tema tratado, haciendo uso de los canales ya señalados (auditivo y visual) para ponerlos en práctica de modo efectivo.

Si es importante considerar la retroalimentación en la enseñanza con tutoriales, para una firme y dinámica integración del conocimiento adquirido. Tapia y Álvarez (2017) señalan en ese sentido que:



El video tutorial debe favorecer la realimentación, comprobación, aplicación, demostración, resolución de ejercicios, problemas de la vida diaria y proyectos de una manera interactiva brindando un juego de iniciativas a través de organizadores gráficos y animaciones hacia la búsqueda de fundamentación científica y su ejecución, conseguir además un aprendizaje significativo que implica un cambio en los esquemas de conocimientos que se poseen previamente, estableciendo nuevas relaciones entre dichos elementos, mejorando de esta manera el proceso de enseñanza-aprendizaje. (p. 3).

Todo lo anteriormente expuesto y argumentado sirve de justificación para proponer este trabajo, orientado al diseño y creación de una herramienta de autoaprendizaje de un área técnica de la rama de la ingeniería eléctrica, como lo es el campo de los transitorios electromagnéticos, como factor de apoyo a los profesionales de esta rama del conocimiento, no importando el nivel, en el manejo de proceso de simulación previos a la ejecución de proyectos, haciendo uso de un instrumento de fácil aplicación y provechosos resultados, el programa de simulación de sistemas y procesos eléctricos PSCAD.

También se justifica el trabajo metodológicamente atendiendo a criterios de relevancia teórica y práctica. En lo teórico, el estudio presenta un fundamento teórico y conceptual que contribuye a ampliar los conocimientos sobre la utilidad del uso de herramientas tecnológicas para evaluar posibles resultados antes de la puesta en práctica de proyectos eléctricos. En lo práctico puede contribuir a minimizar los riesgos en el ámbito laboral del sector eléctrico, a partir del manejo de una herramienta sencilla, versátil y útil, un simulador de procesos. Además, el trabajo contiene una estructura metodológica que puede servir de referencia para futuras investigaciones o estudios similares o aproximados, en el contexto de una realidad basada en la mejora continua del sector técnico científico de la electricidad.

**CAPÍTULO 2****SELECCIÓN DEL SOFTWARE**

Actualmente existen en el mercado distintos tipos de software técnico para el área técnico-científica de Ingeniería. En el presente trabajo, el interés se centra en el uso de *software* para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica. Ahora bien, para seleccionar el programa que se empleará en dicho trabajo, se analizarán tres software muy usados en la simulación de sistemas electrónicos. Son ellos el PSCAD, el Matlab y el Simulink. Dichos programas son herramientas muy completas y globales, con distintos módulos que abarcan y cubren las necesidades que surgen al realizar un proyecto de Ingeniería Eléctrica.

Para dar inicio a este capítulo, se realizará una breve descripción de cada software. Posteriormente se realizará una comparación general de los tres programas de simulación, detallando sus virtudes y debilidades, y además se hará la selección del programa de videos idóneo para realizar la grabación y edición del programa tutorial para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos.

**2.1. PSCAD**

El PSCAD son las siglas de *Power System CAD* y significa Diseño Asistido por Computador para analizar Sistemas de Potencia. Esta herramienta integra una presentación gráfica sencilla y muy poderosa, empleando algoritmos para obtener la respuesta transitoria de campos electromagnéticos, incluyendo su comportamiento en DC, y permitiendo el diseño de un esquema eléctrico, la simulación de su comportamiento, el análisis de datos y la presentación gráfica de resultados, así como el poder alterar “en línea” parámetros durante la simulación para observar los resultados directamente.

Tiene, en consecuencia, integradas herramientas de representación de variables, medidores, elementos de control y modelos de componentes eléctricos tales como: líneas eléctricas, generadores, motores, convertidores e inversores, etc.

### 2.1.1. Características básicas.

En el PSCAD se generan una serie de ficheros para cada simulación, siendo el principal de ellos aquel donde se almacena el esquema y cuya extensión es “.psc”, recibiendo cada caso que se simule el nombre de *Project* (proyecto). De esta forma, si se quiere abrir un esquema que se haya creado anteriormente, se tendrá que ir al comando “Load Project...”, y si se quiere guardar con otro nombre, se utiliza “Save Project as...”. Por cada *project* o proyecto, se genera un fichero con el esquema, por ejemplo, “circuitoAC.psc” y una carpeta, por ejemplo “circuitoAC.emt”, donde se almacenan todos los ficheros temporales empleados para la simulación.

Cabe destacar, que el PSCAD viene completo con una biblioteca de modelos preprogramados y probados, que van desde elementos pasivos y funciones de control simples hasta modelos más complejos, tales como máquinas eléctricas, dispositivos FACTS, líneas de transmisión y cables. Si no existe un modelo en particular, el PSCAD proporciona la flexibilidad para la construcción de modelos personalizados, ya sea ensamblándolos gráficamente utilizando modelos existentes, o mediante la utilización del Editor de Diseño, elaborado de modo intuitivo.

De igual manera, este software puede abordar las tareas de diseño y simulación en áreas de electrónica de potencia, análisis de calidad de la energía, protecciones y estudios de planificación de sistemas eléctricos. El diseño y la optimización de dispositivos eléctricos y sistemas, previo a la creación de prototipos o de su fabricación, es más fácil y mucho más económica gracias al uso del PSCAD.

Ahora bien, entre los usuarios de esta herramienta se encuentran ingenieros y técnicos de los servicios de operación de la red eléctrica, fabricantes de equipos eléctricos, empresas de consultoría, ingeniería e investigación así como instituciones académicas. En general, PSCAD se utiliza en la planificación, el diseño y las fases operativas de los sistemas de

potencia. Es importante señalar, que uno de los puntos fuertes del PSCAD lo constituye su librería de componentes, que permite la utilización directa de esquemas eléctricos de los componentes más habituales en los sistemas eléctricos, por ejemplo:

- Resistencias (R), bobinas (L), condensadores (C)
- Bobinas acopladas y transformadores, tanto monofásicos como trifásicos
- Líneas aéreas y cables
- Fuentes de tensión e intensidad
- Interruptores y conmutadores
- Componentes de electrónica de potencia como diodos, tiristores e IGBT
- Funciones de control digital y analógico
- Máquinas de continua y alterna, con sus sistemas de excitación, regulación de velocidad y sistemas inerciales
- Medidores
- Convertidores electrónicos, como rectificadores, inversores, HVDC y SVC.

También están incluidos en las funciones de trazado gráfico, los controles y los medidores, de forma tal que el usuario puede alterar los parámetros del sistema durante la ejecución de una simulación, y ver directamente los resultados.

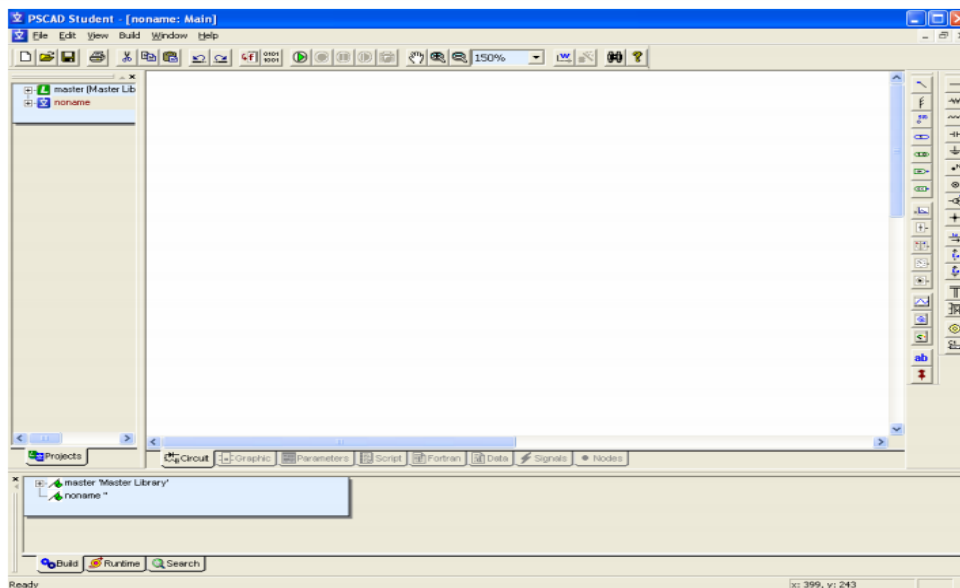
En resumen, el PSCAD es un poderoso software de simulación, fácil de trabajar el cual permite al usuario el diseño, la mejora y solución de problemas de diferentes tipos como en la electrónica de potencia, máquinas eléctricas se usa como medio para analizar redes eléctrica y las protecciones eléctricas en las mismas. Igualmente se puede utilizar tanto en la etapa de planificación, funcionamiento y diseño, así como en la enseñanza e investigación.

### **2.1.2. El entorno gráfico.**

El PSCAD es un programa diseñado para trabajar en un entorno Microsoft Windows, de forma que cuando se inicia el programa aparece una ventana o entorno gráfico donde se pueden distinguir las siguientes zonas de trabajo:

## CAPÍTULO 2

- Área de Trabajo: que es la parte central (en blanco en las figuras 2 y 3) donde se dibujaran los sistemas eléctricos
- Área de Proyectos: es la ventana donde se muestran los proyectos (esquemas eléctricos) que se están utilizando y recibe el nombre de WORKSPACE o PROJECTS.
- Paletas de Componentes, donde se sitúan botones con aquellos elementos más utilizados, tanto eléctricos (Electrical Palette) como de control (Control Palette), y desde donde se puede utilizar resistencias, conductores de conexión...
- Ventana de Salida, donde se informa sobre el estado de la simulación, o bien los errores que pueda tener el circuito...
- Barra Principal de Herramientas, desde la que se accede a las funciones cerrar y abrir proyectos, zoom, inicio de la simulación, copiar, pegar, entre otros.



**Figura 1.** Entorno gráfico de PSCAD. *Fuente: PSCAD (2017).*

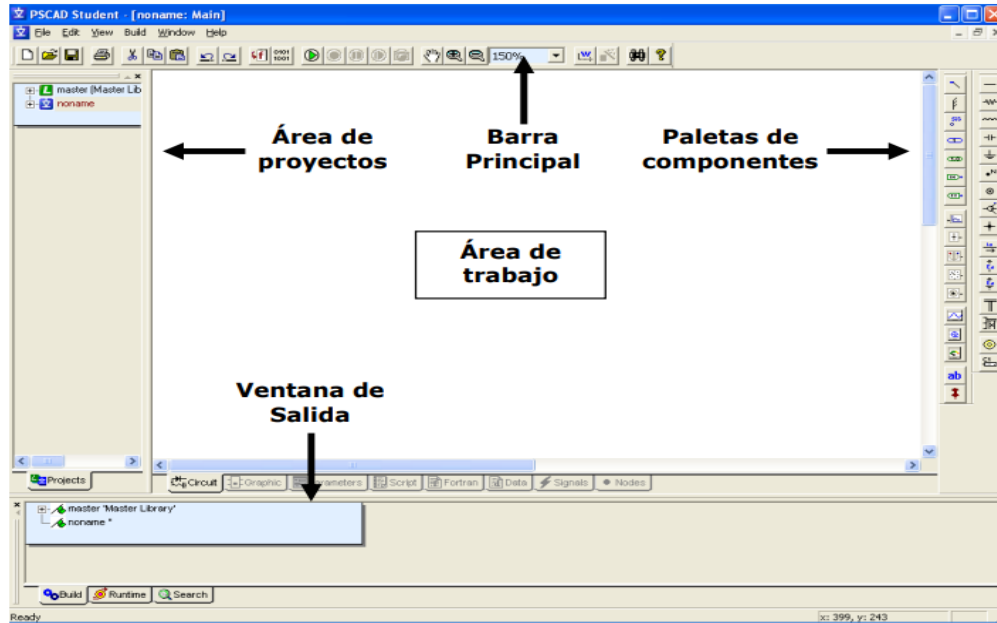


Figura 2. Entorno gráfico detallado. Fuente: PSCAD (2017).

### 2.1.3. Las librerías de componentes.

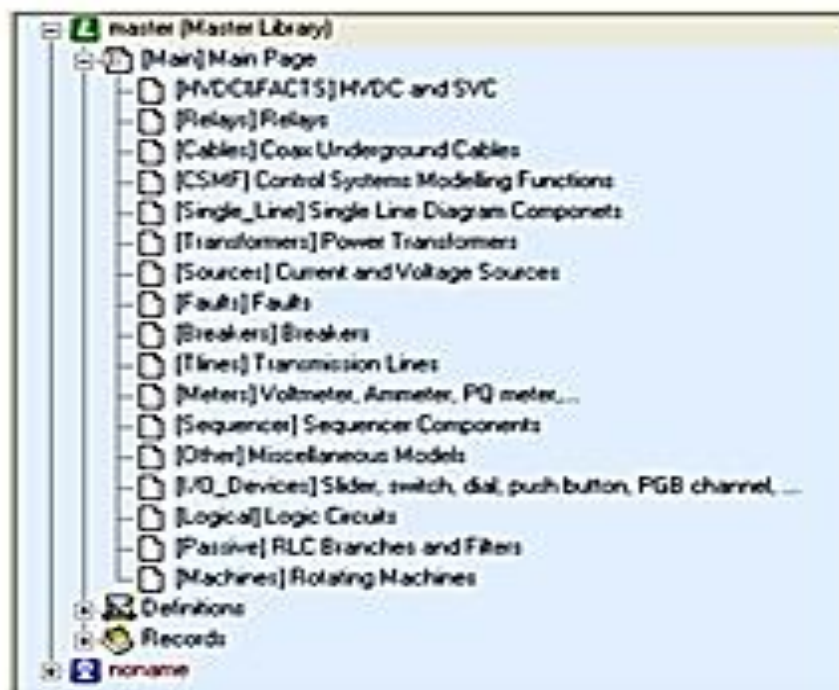
La librería de componentes se llama *Master Library* (ver muestra de su contenido en la figura 1). En ella se encuentran directamente los componentes habitualmente más utilizados, y desde aquí se puede acceder al resto de las librerías de componentes del *software* PSCAD, las cuales también se mostraran a continuación, gráficamente en la Figura 1, siendo las más empleadas:

- HVDC y FACTS, donde están los rectificadores, inversores...
- Power Transformers: Transformadores trifásicos y monofásicos
- Sources: Fuentes de tensión e intensidad, dependiente e independientes
- Faults: Elementos para la simulación de cortocircuitos
- Breakers: Interruptores
- TLines: Líneas eléctricas
- Meters: Amperímetros, voltímetros, valor eficaz, potencia...
- I/O Devices: Elementos de actuación o entrada, como interruptores, pulsadores, potenciómetros..., así como elementos de salida para la representación gráfica de resultados.

- Passive: Configuraciones RLC más habituales
- Machines: Modelos de las máquinas eléctricas de inducción, síncronas... así como sus elementos de regulación más usuales.

Asimismo, el PSCAD se completa con una amplia selección de modelos pre-programados y probados que van desde simples componentes pasivos y funciones de control, a modelos más complejos, tales como máquinas eléctricas, líneas de transporte y cables. Esta completa librería con más de 280 componentes flexibles y validados, permite que los usuarios construyan avanzados modelos no lineales de sistemas de potencia combinando generación, transporte, electrónica de potencia, distribución, y los más importantes circuitos de control de uno o varios modelos de gran tamaño.

Adicionalmente con el Editor de Diseño se pueden crear modelos que no están disponibles en la librería. Un modelo en PSCAD muestra el mismo comportamiento que un sistema de potencia real, tanto es así que ingenieros y los técnicos deben tener cuidado en la construcción de los modelos de simulación. Los componentes deben estar correctamente conectados y los ajustes apropiados para asegurar las operaciones esperadas.



**Figura 3.** Librerías de PSCAD accesibles desde Master Library.  
Fuente: Master Library del PSCAD (2017).

Los siguientes son algunos modelos comunes encontrados en sistemas estudiados con el PSCAD:

- Resistencias, inductores, condensadores
- Devanados con acoplamiento mutuo, tales como transformadores
- Líneas de transmisión y cables dependientes de la frecuencia (incluyendo el modelo de línea en el dominio del tiempo más preciso del mundo.)
- Fuentes de corriente y tensión
- Swiches e interruptores
- Protecciones y relés
- Diodos, tiristores y GTO
- Funciones de control analógicas y digitales
- Máquinas de CA y CC, excitadores, controladores, estabilizadores y modelos inerciales
- Medidores y funciones de medición
- Controles genéricos de CC y de CA
- HVDC, SVC, y otros controladores FACTS
- Fuentes, turbinas y reguladores eólicos

Algunos ejemplos típicos de aplicación de PSCAD para entender mejor los sistemas eléctricos de potencia, son:

- Estudiar circuitos de corriente alterna (AC) consistente en máquinas rotatorias, excitatrices, gobernadores, turbinas, transformadores, líneas de transmisión, cables, y cargas, etc.
- Coordinación de protecciones.
- Efectos de la saturación en los transformadores.
- Coordinación del aislamiento de los transformadores, interruptores y descargador.
- Pruebas de impulso de transformadores
- Estudios de resonancia de sub - sincrónica (SSR) en redes con máquinas eléctricas, líneas de transmisión y sistemas de Corriente Directa de Alto Voltaje (HVDC).
- Evaluación y diseño de filtros así como análisis de los armónicos.



- Diseño de sistemas de control y coordinación de FACTS y HVDC; incluyendo STATCOM VSC, y cicloconvertidores
- Diseño óptimo de parámetros de control.
- Investigación de nuevos circuitos y conceptos de control.
  - Operación de los interruptores o breakers cuando son impactados por una descarga atmosférica o ante cualquier falla.
  - Investigación de los efectos transitorios de un motor diesel y de las turbinas de viento en redes eléctricas.

### **2.2. MATLAB**

MATLAB son las siglas de MATrix LABoratory y significa laboratorio de matrices. Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio conocido como lenguaje M.

Cabe señalar, que MATLAB es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL. El mismo:

Fue creado por el matemático y programador de computadoras Cleve Moler en el año 1984, surgiendo la primera versión con la idea de emplear paquetes de subrutinas escritas en Fortran en los cursos de álgebra lineal y análisis numérico, sin necesidad de escribir programas en dicho lenguaje. Sin embargo, el lenguaje de programación M, fue creado en 1970 para proporcionar un sencillo acceso al software de matrices LINPACK y EISPACK sin tener que usar Fortran. Para el año 2004, se estimaba que MATLAB era empleado por más de un millón de personas en ámbitos académicos y empresariales. (Portafolio, s. f., párr. 2)

### 2.2.1. Características básicas.

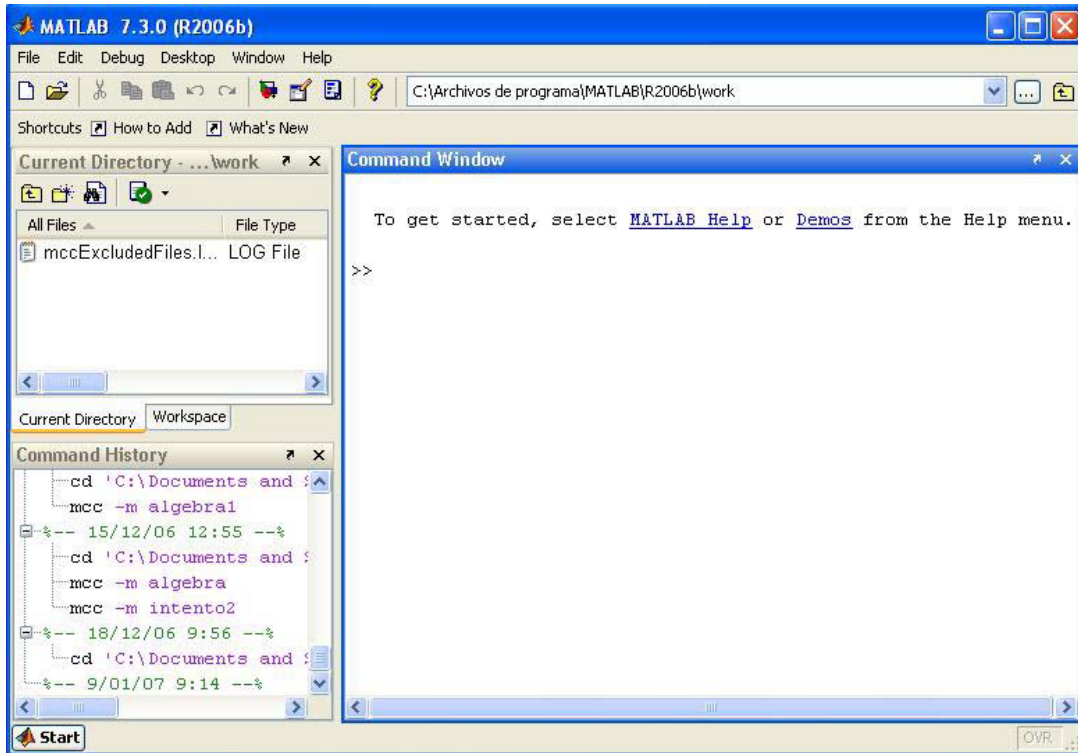
Este software está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux. Ahora bien, el paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (*blocksets*).

Matlab permite guardar y cargar datos de los archivos del computador. En el menú File, la opción Save Workspace as... guarda todas las variables actuales y Import Data... carga variables de un espacio de trabajo guardado previamente. Otra forma sería guardar el estado de una sesión de trabajo con el comando save antes de salir: >> save. Al teclear esto, automáticamente se crea un fichero llamado matlab.mat. Puede recuperarse la siguiente vez que se arranque el programa con el comando load: >> load.

Las aplicaciones de MATLAB se desarrollan en un lenguaje de programación propio y con características claramente diferenciadas. Este lenguaje es interpretado, y puede ejecutarse tanto en el entorno interactivo, como a través de un archivo de script (archivos \*.m), permitiendo operaciones de vectores y matrices, funciones, cálculo lambda, y programación orientada a objetos.

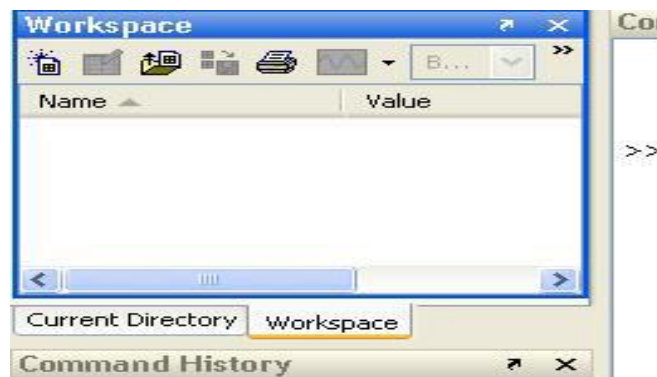
### 2.2.2. El entorno gráfico.

Nada más abrir Matlab (se puede hacer pinchando en el icono que aparece en el escritorio o en su defecto en Inicio->Todos los programas) aparecerá una pantalla como la que se muestra en la figura 4. Todas las sentencias que se van a utilizar se escribirán en la ventana Command Window (ventana de comandos). Es la ventana de mayor tamaño.



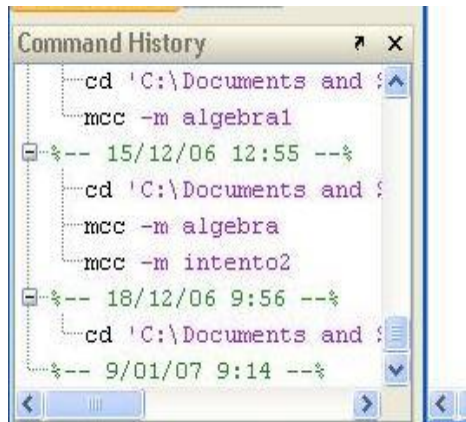
**Figura 4.** Espacio de trabajo de MATLAB. Fuente: Matlab (2017).

Si se quiere información acerca de las variables que se están utilizando en Matlab, se pueden ver en la ventana Workspace (espacio de trabajo) o usar: *who* para obtener la lista de las variables (no de sus valores), y *whos* para obtener la lista de las variables e información del tamaño, tipo y atributos (tampoco da valores). Para ver esta ventana se tiene que pinchar en la pestaña que tienen este nombre, en la parte superior izquierda (Figura 5).



**Figura 5.** Ventana Workspace. Fuente: Matlab. (2017).

Si lo que se quiere es conocer el valor que tiene una variable, se hace escribiendo el nombre de la variable y pulsando Intro. Para recordar órdenes previas se usan las flechas del teclado ↑ y ↓. También se pueden ver en la ventana Command History, ventana situada en la parte inferior izquierda (Figura 6).



**Figura 6.** Ventana Command History. Fuente: Matlab. (2017).

### 2.2.3. Las librerías de MATLAB.

•*Matemática Sencilla:* Matlab ofrece la posibilidad de realizar las operaciones básicas que se visualizan en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Matemáticas Básicas de Matlab.

Operación	Símbolo	Expresión en Matlab
Suma	+	a+b
Resta	-	a-b
Multiplicación	*	a*b
División	/	a/b
Potencia	^	a^b

Fuente: Matlab. (2017).

El orden de precedencia es:

<b>Orden de Precedencia de Operaciones</b>	
1°	^
2°	* /
3°	+ -

Matlab no tiene en cuenta los espacios. Por lo tanto, si se quiere que Matlab evalúe la línea pero que no escriba la respuesta, basta escribir punto y coma (;) al final de la sentencia. Si la sentencia es demasiado larga para que quepa en una sola línea escrita de manera continua, se pueden poner tres puntos (...) seguido de la tecla Intro para indicar que continúa en la línea siguiente.

- *Formatos de Visualización de Números:* Matlab no cambia la representación interna de un número cuando se escogen distintos formatos, sólo se modifica la forma de visualizarlo, como se aprecia en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Formatos de Visualización de Números.

<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Ejemplo: &gt;&gt; pi</b>
format short	Formato coma fija con 4 dígitos después de la coma (es el formato que viene por defecto)	3.1416
format long	Formato coma fija con 14 o 15 dígitos después de la coma	3.14159265358979
format short e	Formato coma flotante con 4 dígitos después de la coma	3.1416e+000
<b>Tipo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Ejemplo: &gt;&gt; pi</b>
format long e	Formato coma flotante con 14 o 15 dígitos después de la coma	3.141592653589793e+000
format short g	La mejor entre coma fija o flotante con 4 dígitos después de la coma	3.1416

format long g	La mejor entre coma fija o flotante con 14 o 15 dígitos después de la coma	3.14159265358979
format short eng	Notación científica con 4 dígitos después de la coma y un exponente de 3	3.1416e+000
format long eng	Notación científica con 16 dígitos significantes y un exponente de 3	3.14159265358979e+000
format bank	Formato coma fija con 2 dígitos después de la coma	3.14
format hex	Hexadecimal	400921fb54442d18
format rat	Aproximación racional	355/113
format +	Positivo, negativo o espacio en blanco	+

Fuente: Matlab. (2017).

• *Las Variables*: Matlab almacena el último resultado obtenido en la variable ans. Las variables son sensibles a las mayúsculas, deben comenzar siempre con una letra, no pueden contener espacios en blanco y pueden nombrarse hasta con 63 caracteres (en versiones anteriores no permitía tantos caracteres). Si se nombra una variable con más de 63 caracteres truncará el nombre de dicha variable. (Cuadro 3). Algunas variables especiales de Matlab son:

**Cuadro 3.** Variables Especiales de Matlab.

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor</b>
ans	Variable usada por defecto para almacenar el último resultado	???
pi	Razón de una circunferencia a su diámetro	3.1416
eps	Número más pequeño, tal que cuando se le suma 1, crea un número en coma flotante en el computador mayor que 1	2.2204e-016
inf	Infinito	Inf
nan	Magnitud no numérica	NaN

i y j	$i = j = \sqrt{-1}$	$0 + 1.0000i$
realmin	El número real positivo más pequeño que es utilizable	$2.2251e-308$
realmax	El número real positivo más grande que es utilizable	$1.7977e+308$

Fuente: Matlab. (2017).

Tecleando *clear* se puede borrar todas las variables del espacio de trabajo, pero no borra lo de las demás ventanas, es decir, no desaparece lo que hay escrito en la ventana de comandos. Sin embargo, tecleando *clc* se borra lo que hay en la ventana de comandos pero no borra las variables de la memoria del espacio de trabajo. Algunos comandos de Matlab facilitan información sobre la fecha, como *clock*, *date* o *calendar*.

#### **2.2.4. Limitaciones de MATLAB.**

Durante mucho tiempo hubo críticas y polémicas porque MATLAB es un producto propietario de The Mathworks, y los usuarios están prácticamente comprometidos y a merced del fabricante. Es de reciente data la aparición de una herramienta adicional llamada MATLAB Builder bajo la sección de herramientas "Application Deployment" para utilizar funciones MATLAB como archivos de biblioteca que pueden ser usados con ambientes de construcción de aplicación .NET o Java.

Sin embargo, trae aparejada una desventaja apreciable como es que el computador donde la aplicación tiene que ser utilizada requiere, por fuerza, la herramienta MCR (MATLAB Component Runtime) para que los archivos MATLAB funcionen correctamente. MCR se puede distribuir libremente con los archivos de biblioteca generados por el compilador MATLAB. (Huanacuni, 2015).

### 2.3. SIMULINK

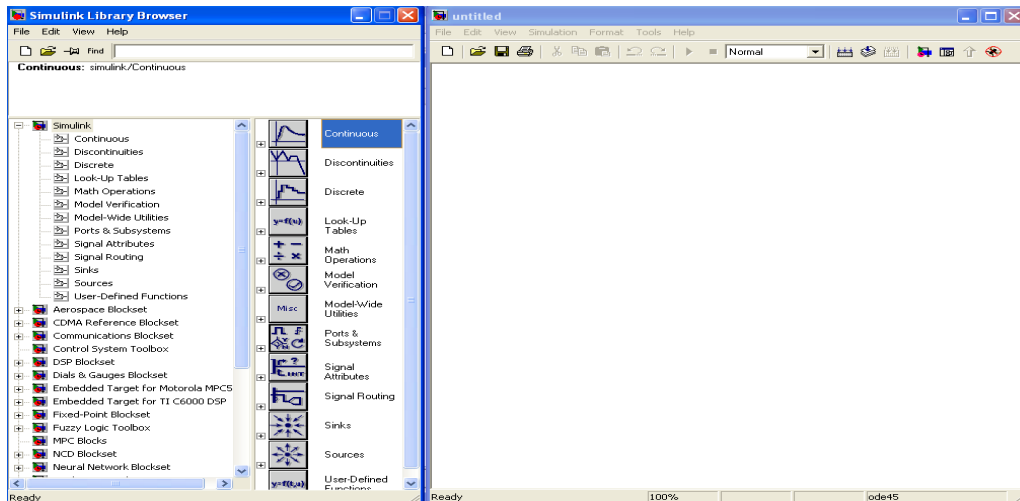
Una de las mejores definiciones de lo que representa el software Simulink se ha hecho la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, FACEyT, de la Universidad Nacional de Tucumán, en Argentina, que lo señala como:

Simulink es un software que funciona bajo la plataforma de Matlab y es una herramienta muy útil para modelar, simular y analizar sistemas, tanto lineales como no lineales. Permite al usuario realizar sus estudios tanto en el dominio del tiempo como el de Laplace, expresar las funciones de transferencia en las diferentes formas incluyendo la del espacio de los estados y otras opciones. En una interfaz gráfica (GUI) como la que se observa en la Figura 7, el usuario construye un diagrama de bloques que desarrollan procedimientos que realizan las operaciones matemáticas requeridas para la solución de un modelo. (FaceyT, 2015, p. 1)

#### 2.3.1. El entorno gráfico.

Para acceder a Simulink se requiere abrir el espacio de trabajo de Matlab y presionar el icono “Simulink” o también mediante la digitación de dicha palabra clave con letras minúsculas en el editor de comandos. Con lo anterior se despliega, solamente, la ventana de título “Simulink Library Browser” que se observa a la izquierda de la Figura 7. El espacio de trabajo de Simulink es la ventana que se observa a la derecha y se despliega presionando el icono “Create a new model” que se encuentra en la barra estándar o desplegando el menú “File” y seleccionando sucesivamente “New” y “Model” (Ctrl + N).





**Figura 7.** Librerías (Izquierda) y Espacio de Trabajo de Simulink (Derecha).  
Fuente: Simulink (2017)

### 2.3.2. Las librerías de Simulink.

Al desplegar el árbol de Simulink y haciendo clic izquierdo sobre su nombre, se despliegan las librerías que contienen los bloques operacionales agrupados de acuerdo a diferentes propósitos comunes. Los nombres de las librerías son: *Continuous*, *Discontinuities*, *Discrete*, *Look-Up Tables*, *Math Operations*, *Model Verification*, *Model-Wide Utilities*, *Ports & Subsystems*, *Signal Attributes*, *Signal Routing*, *Sinks*, *Sources* y *User-Defined Functions*.

#### 2.3.2.1. Librería “Continuous” (Continuo).

La Figura 8 muestra la ventana que se despliega al hacer doble clic sobre la librería “Continuous” y la Figura 9 muestra los íconos que simbolizan a cada uno de los bloques que incluye esta librería. Los nombres de los bloques son: *Derivative* (Derivada), *Integrator* (Integrador), *State-Space* (Espacio de los Estados), *Transfer Fcn* (Función de Transferencia como numerador/denominador), *Transport Delay* (Tiempo Muerto), *Variable Transport*

Delay (Tiempo Muerto Variable), Zero-Pole (Transferencia Muerto en la forma de zeros y polos).

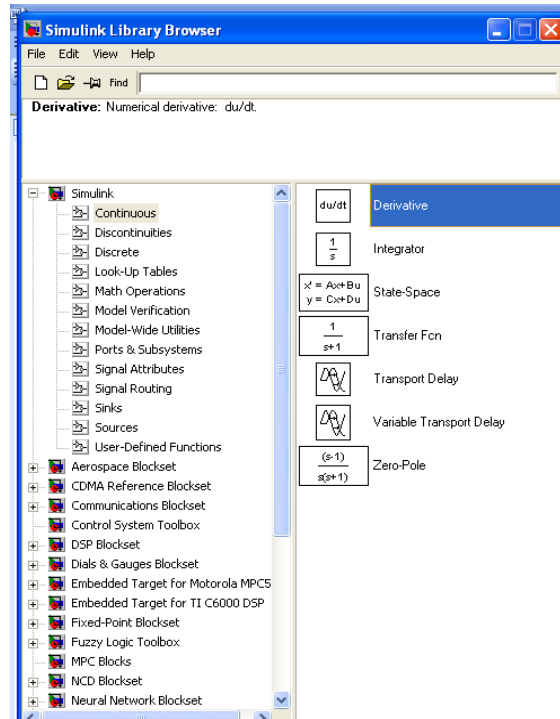


Figura 8. Librería Continuous. Fuente: Simulink. (2017).

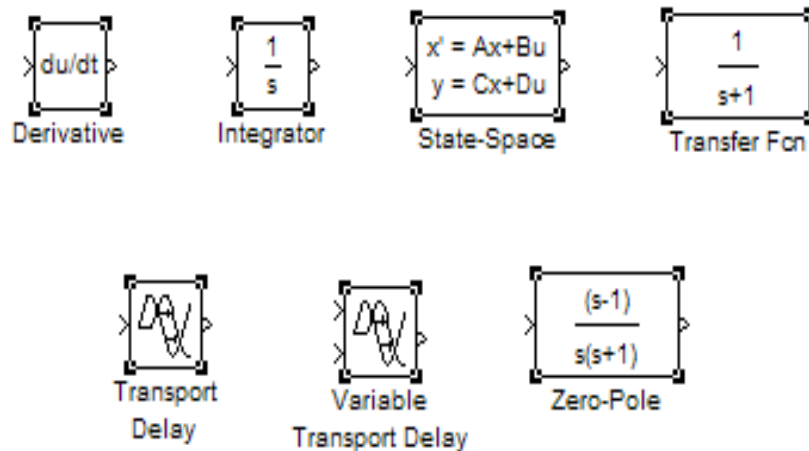
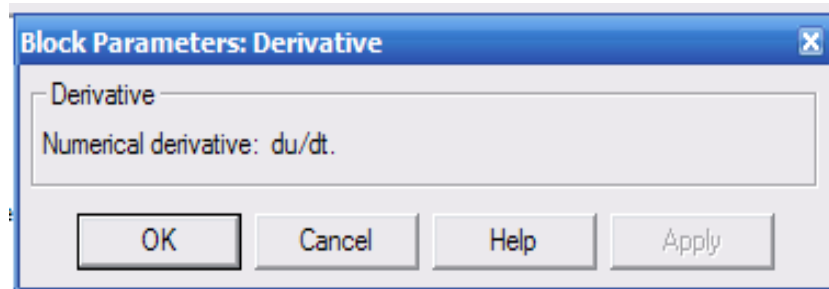


Figura 9. Bloques Operacionales. Fuente: Simulink. (2017).

Estos bloques de la librería conforman un sistema de entradas y salidas globales. Representan unidades que reciben una información de entrada y sobre ella ejecutan un proceso matemático para generar una información de salida cónsona con los datos recibidos. En la librería “Continuous” se incluyen los bloques para realizar operaciones matemáticas continuas en el tiempo. (FACEyT, 2015).

- *Bloque Derivada (“Derivate”)*: Este bloque desarrolla la derivada con respecto al tiempo de la variable de entrada para lo cual no se necesita especificación. En la Figura 10 se puede apreciar un ejemplo de la ventana que se despliega al hacer doble clic sobre el icono Derivative.



**Figura 10.** Especificaciones del Bloque Derivative. Fuente: Simulink (2017).

- *Bloque Integrador (“Integrator”)*: Este bloque se encarga de desarrollar la operación de integrar la información de entrada desde un tiempo inicial  $t_0$  hasta un tiempo final  $t_f$  especificado como uno de los parámetros de la simulación.

### 2.3.2.2. Librería “Math Operations” (Operadores).

En la Figura 11 se aprecia la ventana que se despliega al hacer doble clic sobre la librería “Math Operations” y la Figura 12 los botones incluidos en dicha librería.

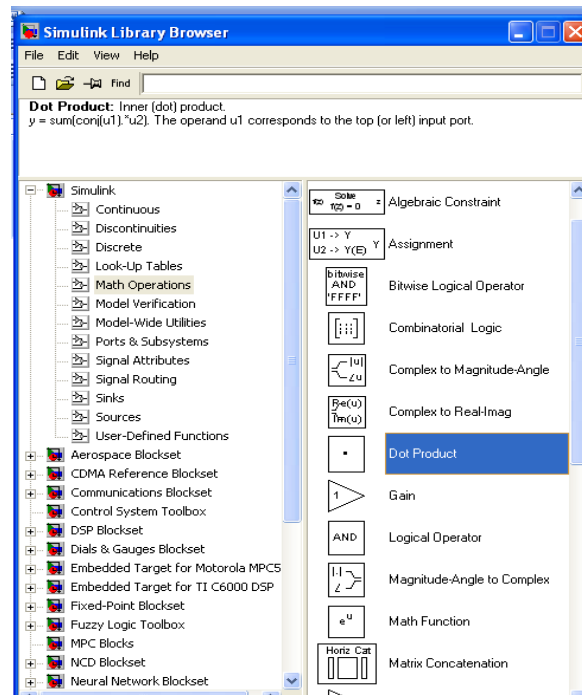


Figura 11. Librería Math Operations. Fuente: Simulink. (2017).

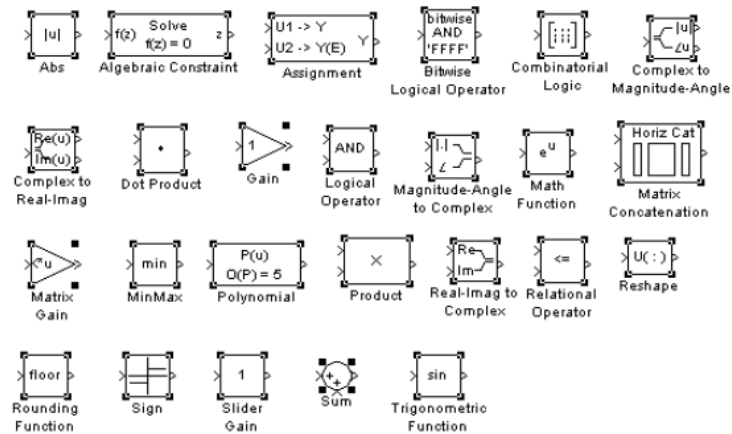


Figura 12. Bloques de la Librería Math Operations. Fuente: Simulink. (2017).

Los bloques de la librería “Math Operations” se utilizan en la simulación de la dinámica de un sistema para aplicar operadores matemáticos sobre su información de entrada. A continuación se describe la especificación de algunos de ellos:

- *Bloque Suma (“Sum”)*: El bloque “Sum” realiza la suma algebraica de las informaciones de entradas alimentadas al bloque. El bloque “Sum” se especifica introduciendo en el cuadro “List of signs” los signos de cada uno de las informaciones de entrada o el número de ellas. En el primer caso los signos de suma o resta se despliegan a un lado de los topes de entrada del icono que representa al bloque.

- *Bloques Ganancia (“Gain” y “Slider Gain”)*: El bloque “Gain” aplica un factor multiplicador constante a la información de entrada y el producto lo transmite como la información de salida. El factor multiplicador es la ganancia. En el cuadro Gain se introduce la ganancia como un valor constante. El bloque “Slider Gain” realiza la misma operación del bloque “Gain” permitiendo la variación del valor de la ganancia asignada, mediante el botón deslizable, desde un valor mínimo hasta un máximo.

- *Bloque Producto (“Product”)*: El bloque “Product” realiza el producto o la división entre las informaciones de entrada. Esto se especifica introduciendo, ya sea, el número de corrientes a multiplicar o los signos producto o división para cada una de las informaciones de entrada en el cuadro “Number of inputs” de la ventana de especificaciones. Al especificar los signos, estos se despliegan con los símbolos de producto o división a un lado de los topes de entrada del icono que representa al bloque.

- *Bloque Función (“Math Function” y “Trigonometric Function”)*: El bloque “Math Function” aplica a la información de entrada una función matemática que se selecciona en el cuadro desplegable “Function”, mientras que el bloque “Trigonometric Function” solo aplica funciones trigonométricas.

- *Bloque Mínimo y Máximo (“MinMax”)*: El bloque “MinMax” selecciona el valor mínimo o el máximo entre los correspondientes a las informaciones de entrada. En su ventana de especificaciones se encuentra el cuadro donde se elige la función del bloque, es decir, “min” o “max” y un cuadro adicional donde se especifica el número de entradas al bloque. Después de introducir lo anterior, se observa en el icono del bloque un número de topes de entrada igual al especificado.

### **2.3.3. Instalación y Conexión de un Bloque Operacional.**

Para la instalación de un bloque en el espacio de trabajo de Simulink se selecciona de la librería con un clic izquierdo del mouse y en forma sostenida se arrastra hasta el espacio de trabajo de Simulink. Las conexiones entre dos bloques se realizan acercando el puntero del mouse a uno de los topes (entrada o salida) hasta que este cambie en forma de cruz, se presiona el botón izquierdo del mouse y en forma sostenida se arrastra hasta el otro tope. La conexión es correcta cuando el puntero del mouse tome la forma de una cruz de doble trazo. Se debe observar una línea con una saeta en el tope del bloque de entrada.

### **2.3.4. Especificación de un Bloque Operacional.**

Las especificaciones mínimas requeridas en un bloque se relacionan con la operación que realizan dentro del diagrama que representa el proceso de solución del modelo matemático del sistema. Estas especificaciones le permiten al sistema, de acuerdo con las instrucciones adecuadas en cada caso, generar las soluciones esperadas en función del problema que se haya abordado.

## **2.4. Comparativa y Conclusiones**

El objetivo de este apartado es realizar una comparativa que ayude en la elección del software sobre el que estará basado el proyecto, y lo más importante, con el que trabajarán los futuros alumnos. Por tanto, el basamento estará relacionado con las características de cada software de simulación como herramienta para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica. No obstante, habrá que tener en cuenta distintos factores, como pueden ser: la sencillez de manejo de cada programa, el tiempo que requiere el aprendizaje de manejo, así como la versatilidad y aplicabilidad de los mismos. En el cuadro 4 se puede observar la comparativa de los tres software.

**Cuadro 4.** Comparativa de cada Programa.

<b>PSCAD</b>	<b>Matlab/Simulink</b>
PSCAD es una interfaz gráfica de usuario basada en el motor de transitorios electromagnéticos, incluido DC (EMTDC)	Matlab y Simulink son herramientas de software matemático que ofrecen un entorno de desarrollo integrado (IDE).
Es un programa diseñado para trabajar en un entorno Microsoft Windows.	Estos software están disponibles para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.
Considera fenómenos transitorios de un sistema de potencia.	Solamente aborda la parte de control y/o visualización.
Se puede aplicar en el estudio y análisis de sistemas eléctricos de potencia relacionados con circuitos de corriente alterna (AC), máquinas rotatorias, turbinas, transformadores, líneas de transmisión, cables, y cargas, coordinación de protecciones, interruptores y descargador, pruebas de impulso de transformadores, estudios de resonancia SSR en redes con máquinas eléctricas, líneas de transmisión y HVDC, evaluación y diseño de filtros y análisis de los armónicos, diseño de sistemas de control y coordinación FACTS, HVDC; STATCOM VSC, operación de interruptores o breakers bajo impactos de una descarga atmosférica o cualquier falla, etc.	Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware
El PSCAD viene completo con una biblioteca de modelos preprogramados y probados, que van desde elementos pasivos y funciones de control simples hasta modelos más complejos	El paquete Matlab dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI)
PSCAD permite al usuario construir gráficamente un circuito, ejecutar una simulación, analizar los resultados y administrar los datos en un entorno gráfico completamente integrado. También están incluidos las funciones de trazado gráfico, los controles y los medidores, de forma tal que el usuario puede alterar los parámetros del sistema durante la ejecución de una simulación, y ver directamente los resultados.	Las aplicaciones de Matlab se desarrollan en un lenguaje de programación propio (lenguaje M), que permite operaciones de vectores y matrices, funciones, cálculo lambda, y programación orientada a objetos. Matlab provee funciones para visualizar datos en 2D y 3D
Existen versiones gratis (estudiante) que puede ser bajada directamente de internet. Esta versión puede ser utilizada sin ningún tipo de licencia del fabricante.	Matlab es un producto propietario de The Mathworks, y los usuarios están sujetos y a merced del fabricante o el vendedor.

<p>PSCAD requiere un compilador de FORTRAN para construir y simular proyectos, es por ello que un compilador FORTRAN gratuito, denominado compilador GFortran 95, se proporciona en su CD de PSCAD</p>	<p>La interfaz Matlab no es compatible con el compilador GFortran del PSCAD. Existe la desventaja de que el computador donde la aplicación ha de ser utilizada necesita MCR (Matlab Component Runtime) para que los archivos Matlab funcionen correctamente.</p>
<p>PSCAD se puede interconectar con archivos de biblioteca de Matlab versión 5 o superior.</p>	<p>Matlab debe estar instalado en su computadora para poder usar la interfaz de Matlab.</p>

Ahora bien, una vez analizadas las ventajas y desventajas de cada simulador, se descartó el empleo de los programas Matlab y Simulink, pues ambos carecen de módulos y herramientas que el PSCAD si ofrece. Por tal motivo, el software elegido para llevar a cabo el presente trabajo fue el PSCAD, sobre todo debido a que su interfaz gráfica está basada en el motor de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica.

En este mismo orden de ideas, y examinando más exhaustivamente el PSCAD, se pueden extraer algunas características mas técnicas de este software:

- El panel de cuadrícula o área de trabajo permite modificar múltiples valores de parámetros en varios componentes simultáneamente.
  
- El panel gráfico posibilita habilitar o inhabilitar los componentes en el gráfico o de cambiar la visibilidad de los objetos que aparecen en él.
  
- El panel de navegación “Vista de pájaro” ofrece una vista general de todo el cuadro gráfico e indica qué se ve actualmente. Esta herramienta es una parte importante de la colección de herramientas de navegación en PSCAD, y se utiliza para ampliar y navegar con facilidad. Este panel es particularmente útil cuando se trabaja con proyectos muy grandes.
  
- Con relación a la Interfaz de Red Eléctrica (ENI), se ha desarrollado una nueva interfaz que permite que las subredes de proyectos individuales estén conectadas eléctricamente entre sí y simuladas como una red completa. En esencia, esto proporciona una forma de romper



grandes redes eléctricas en sub-redes, interconectarlas y ejecutar cada una como un proceso independiente.

- La herramienta de comparación esquemática permite una diferenciación visual rápida y conveniente entre las definiciones de los componentes del módulo.

- El compilador gratuito de Fortran suministrado con PSCAD se ha actualizado de v4.2.1 a v4.6.2. Esta actualización también resuelve varios errores que eran inherentes a la versión anterior de GFortran.

- Los proyectos o espacios de trabajo pueden ahora cargarse en el entorno de manera sencilla mediante arrastrar y soltar.

- PSCAD mantiene un archivo de copia de seguridad tanto para el espacio de trabajo como para todos los proyectos cargados. Este archivo de recuperación se actualiza cada 30 segundos y se elimina al salir de la aplicación. En caso de que la aplicación se bloquee, los archivos de copia de seguridad se detectarán al reiniciar y se le preguntará al usuario si desea recuperar las copias de seguridad.

- Posee versión gratuita, la cual es perfecta para simular sistemas pequeños y para usar como una herramienta de demostración.

Por todo lo antes expuesto, y dado que se busca un programa que ayude al autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica, y analizando a su vez, lo que cada software ofrece, se puede señalar que el PSCAD es el más completo. Concretamente, en el caso de la interfaz de ventanas, el PSCAD se enorgullece de tener una interfaz de ventanas completamente nueva, la cual incluye la compatibilidad total con la MFC (Microsoft Foundation Class), soporte de acoplamiento de ventanas y un nuevo editor de diseño incorporado. Con relación a las funciones para el trazado gráfico en línea del PSCAD, han sido completamente rediseñadas y ahora son más poderosas que nunca. Los nuevos gráficos avanzados vienen completos con todas las funciones, incluyendo soporte

total para la ampliación y la exploración, controles de marcadores, Polímetro, Fasómetro y posibilidades de trazado gráfico XY.

Finalmente, en cuanto a la sencillez y el tiempo que requiere el aprendizaje de manejo de dichos programas, consultando diversos foros especializados en Ingeniería Eléctrica, se puede concluir que las herramientas y módulos que ofrece el PSCAD son de manejo fácil, intuitivo y rápido.

### **2.5. Programa de Vídeos.**

En el mercado se dispone de gran cantidad de software que permiten grabar la pantalla del ordenador, pero si se busca un programa que además de capturar lo que ocurre en la pantalla, proporcione todas las herramientas de edición y producción de vídeos de alta calidad y para cualquier formato, entonces se debe acceder a Camtasia Studio. Es éste un programa de TechSmith, empresa que desarrolla capturadores de pantalla y software de grabación para uso personal y profesional. Dispone de siete productos que permiten, por ejemplo, capturar pantalla mediante vídeos o imágenes, gestionar distintos tipos de archivos, crear presentaciones dinámicas con imágenes y vídeos de alta calidad, etc.

Camtasia Studio es un programa muy completo, que permite grabar cualquier acción que suceda en la pantalla del ordenador, siendo el usuario el que delimita la zona de captura. Además ofrece la posibilidad de grabar audio, puede capturar vídeo desde una cámara web e incluso grabar presentaciones PowerPoint. En cuanto a la edición de vídeos, presenta múltiples opciones, entre las que se pueden señalar: permite introducir títulos e imágenes para presentar los vídeos, o incluso contenido interactivo si se produce el vídeo en formato Flash; incluir moscas con un logotipo en cualquier parte del vídeo; posibilidad de hacer zoom para ampliar determinadas zonas; resaltar el ratón y la imagen; mejorar el sonido grabado; incluir subtítulos o introducir transiciones entre vídeos o cortes.

Ahora bien, el programa permite producir los vídeos en muchos formatos, tanto de extensión de archivo (Flash, MPG, AVI, Mov, WMA...), como de tamaño o características de definición. Camtasia Studio es por lo tanto un programa que permite y facilita la

publicación de contenidos en muy distintos ámbitos: CD, DVD, páginas web, iPod. Adicionalmente incluye otras aplicaciones que además de permitir grabar y reproducir, posibilitan la creación de menús y submenús para CD/DVD o para su visualización online. Por tal motivo, para la realización del proyecto se usará la versión Camtasia 7.1.0. El programa dispone de una aplicación central y varias auxiliares, que permiten realizar algunas funciones más específicas de forma independiente, tales como:

- *Camtasia Studio*: aplicación principal desde la cual se puede comenzar a grabar de forma simple y fácil, y posteriormente editar, producir y compartir los vídeos. Con el editor de Camtasia se puede organizar y editar clips en la denominada línea de tiempo para construir los vídeos. Permite importar y añadir imágenes, grabación de archivos, secuencias de vídeo y audio. El editor de Camtasia posee varios componentes para agregar y editar distintos efectos. Además se pueden crear y gestionar los proyectos de vídeo. Al producir, Camtasia crea un archivo de salida basado en la secuencia de clips de vídeo, clips de audio, imágenes y efectos contenidos en la línea de tiempo. Las opciones preestablecidas de producción están optimizadas para los métodos de distribución populares: blog, CD, DVD, HD, iPhone, iPod, Screencast.com, Web, o YouTube.

- *Camtasia MenuMaker*: esta aplicación permite crear menús y submenús, para acceder a distintos archivos que se encontrarán en una misma ubicación. De esta forma, se podrá grabar un CD/DVD el menú que se crea, obteniendo un medio perfecto de distribución de información. Para la realización de los menús se puede emplear las distintas plantillas incluidas en el programa, o crear las propias plantillas. Además permite incluir todo tipo de archivos en los menús, tales como archivos de documentos, archivos gráficos, archivos multimedia, entre otros.

- *Camtasia Player*: es un reproductor de vídeo independiente, optimizado para la reproducción de las grabaciones de pantalla. Reproduce vídeos en el 100% de su tamaño original para mantener la legibilidad. No requiere instalación, e incluye soporte integrado para el TechSmith Screen Capture Codec (capturador de pantalla TechSmith).

## ***CAPÍTULO 2***

- *Camtasia Recorder*: graba exactamente lo que el usuario quiere, es decir, toda la pantalla, unas dimensiones específicas, una zona, ventana o aplicación. Está diseñada para ser simple y fácil de usar. La grabadora registra automáticamente micrófonos de grabación externa o el propio del sistema. Permite hacer zoom o rotar los fotogramas clave para optimizar la visualización. Una vez finalizada la grabación, se podrá exportar el archivo al formato de vídeo que se desee.

- *Camtasia Theater*: permite crear proyectos combinando distintos archivos Flash en un solo menú que podrá visualizarse online o en un CD. Los espectadores podrán navegar y escoger de forma sencilla y rápida entre varias películas o ver secuencias predeterminadas. Dado que Camtasia Studio es un programa muy completo, su uso requiere preparación previa para lograr un máximo aprovechamiento.



CAPÍTULO 3

MÓDULOS DEL SOFTWARE

Cabe destacar, que el PSCAD tiene una rica biblioteca (*Master Library*) de elementos listos para ser insertados en el simulador de prueba.

Además de estos simples componentes, contiene medidas y modelos complejos, tales como modelos de sobrecarga de líneas, cables, cargadores, etc. Sin embargo, si la biblioteca no puede encontrar el artículo deseado, el programa permite de forma muy sencilla construir un nuevo elemento y agregarlo a la biblioteca de simulador. La biblioteca maestra de PSCAD, con más de 280 componentes flexibles y validados, permite a los usuarios construir modelos avanzados no lineales de un sistema de energía combinando generación, transmisión, electrónica de potencia, distribución y, lo más importante, circuitos de control en uno o varios modelos grandes. (Figura 13)

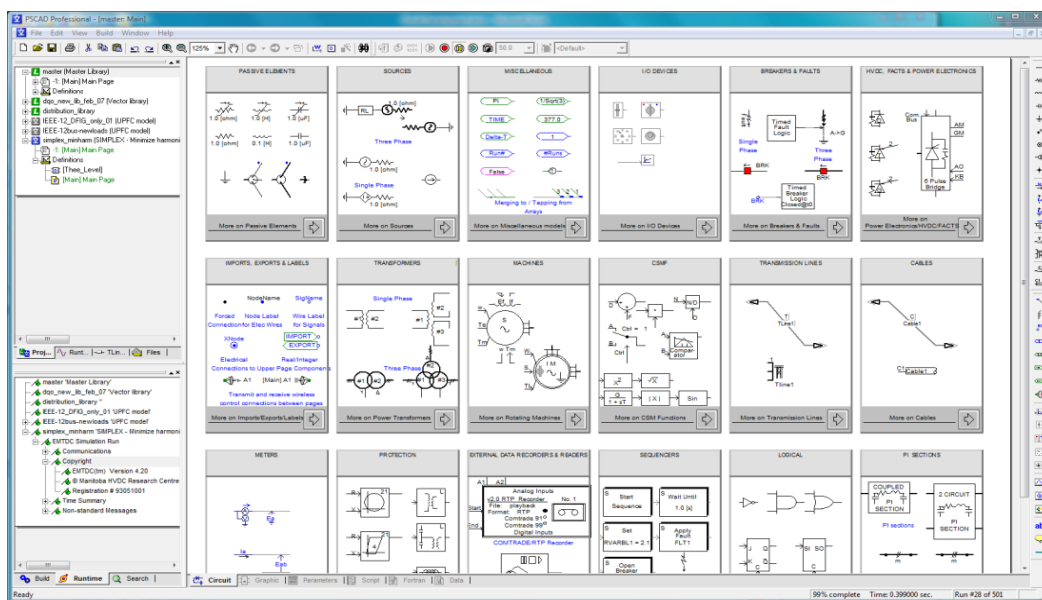


Figura 13. Biblioteca Maestra de PSCAD. Fuente: PSCAD. (2017).

El programa de la biblioteca incluye módulos de elementos tales como:

- Passive: Configuraciones RLC más habituales de resistencias, bobinas y condensadores
- Power Transformers: Transformadores trifásicos y monofásicos

- Sources: Fuentes de tensión e intensidad, dependiente e independientes
- Líneas de Transmisión (modelos más recientes a nivel mundial)
- Interruptores y disyuntores de circuito
- Diodos, transistores y tiristores totalmente controlables.
- Control de Funciones analógicas y digitales
- Machines: Modelos de las máquinas eléctricas de inducción, síncronas, de corriente alterna y fija... así como sus elementos de regulación más usuales
- Medidores y contadores
- Componentes utilizados en los sistemas de AC y DC
- Módulos de HVDC (alta tensión en corriente), SVC (Compensador de VAR estático) y otros
- Modelos de turbinas de viento
- Meters: Amperímetros, voltímetros, valor eficaz, potencia
- I/O Devices: Elementos de actuación o entrada, como interruptores, pulsadores, potenciómetros..., así como elementos de salida para la representación gráfica de resultados
- Faults and Breakers: Elementos para la simulación de cortocircuitos e Interruptores

Adicionalmente, aparte de los módulos de biblioteca antes mencionados, listos para su uso en el simulador, el programa tiene un potencial muy alto en la creación de nuevos módulos (componentes). Estos módulos se pueden copiar entre documentos, por lo que muchos usuarios son capaces de crear cantidad casi ilimitada de módulos universales para medir diferentes valores o elementos de simulación no previstos por el fabricante del programa. A continuación una breve descripción de algunos de los módulos principales del software PSCAD:

- **Elementos Pasivos** (*Passive Elements*): La biblioteca maestra contiene gran variedad de resistencias fijas y variables (R), inductores (L), condensadores (C), cargas, filtros, barras, cables, transposiciones y elementos de ruptura trifásica (Figura 14). Todos estos componentes se pueden ensamblar de manera arbitraria. Los componentes eléctricos se conectan juntos y se resuelven según el software EMTDC, y los componentes de control se ensamblan bajo instrucciones Fortran y se unen bajo el ejecutable de EMTDC.

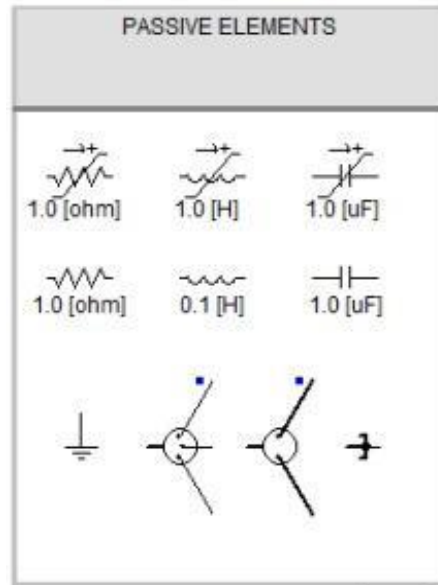


Figura 14. Elementos Pasivos. Fuente: PSCAD (2017)

• **Fuentes** (*Sources*): Una gran variedad de fuentes de voltaje y corriente están disponibles para uso en simulaciones (Figura 15). Se incluyen fuentes de tensión y corriente monofásicas y trifásicas, incluyendo fijas, variables o controladas externamente. Reguladores manuales o generadores de señal se puede conectar a estas fuentes para producir cualquier tipo de señal.

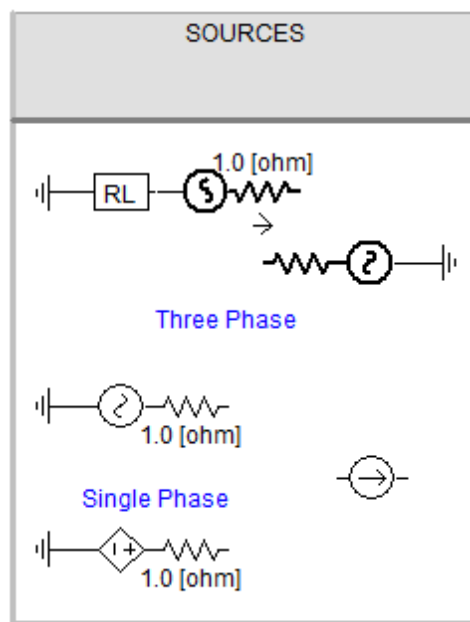


Figura 15. Fuentes. Fuente: PSCAD. (2017)



- **Entrada/Salida (Input/Output):** La biblioteca principal contiene los componentes especiales de E/S en forma de deslizadores, interruptores, diales y botones (Figura 16). Estos componentes son utilizados para controlar manualmente la simulación conectando y controlando los niveles de voltaje, control de ganancias, breakers y estado de las fallas, etc. Diversos componentes de salida y las construcciones están también disponibles.

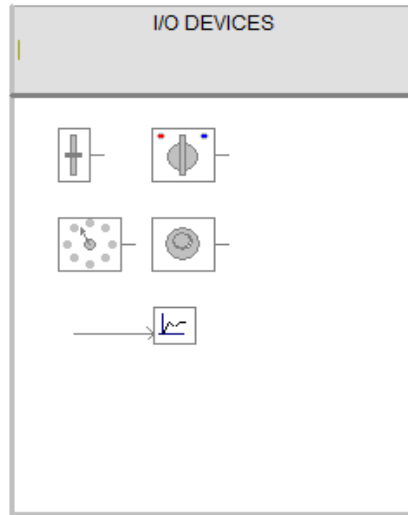


Figura 16. Entrada/Salida. Fuente: PSCAD (2017)

- **Breakers y Fallas (Breakers and Faults):** Breakers trifásicos y monofásicos así como diversas fallas, además de sincronización asociadas al tiempo de reconexión. (Figura 17)

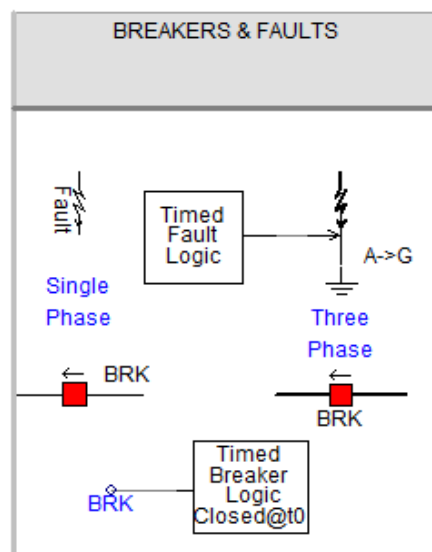
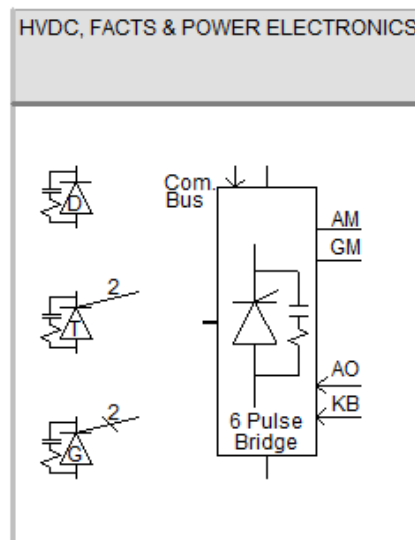


Figura 17. Breakers y Fallas. Fuente: PSCAD (2017).

- **Electrónica de Potencia** (*Power Electronics*): Varios elementos electrónicos de potencia están contenidos en este módulo de la biblioteca maestra (Figura 18). La capacidad de simular elementos de electrónica de potencia no lineales es una tecnología básica del conjunto de herramientas PSCAD como son GTOs, Tiristores, Transistores, IGBTs, Diodos, Pararrayos, 6 pulsos. También puentes y generadores de impulsos de disparo interpolados forman la base de esta tecnología.



**Figura 18.** Electrónica de Potencia. Fuente: PSCAD (2017)

- **Funciones de Control de CSMF** (CSMF Controls Functions): Controles analógicos y digitales están disponibles permitiendo al usuario construir cualquier sistema de control arbitrario, simple o complejo (Figura 19).

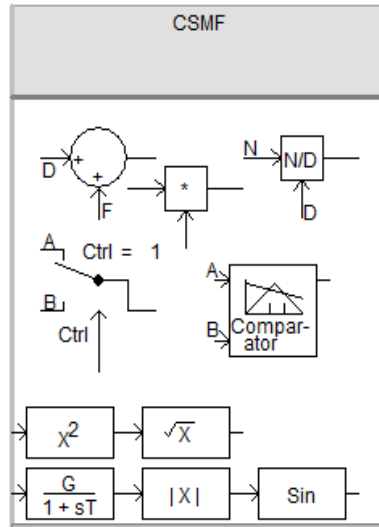


Figura 19. Funciones de Control de CSMF. Fuente: PSCAD (2017)

• **Maquinas** (Machines): Este módulo contiene varias máquinas síncronas trifásicas, máquinas de inducción tipo de jaulas de ardilla, máquinas de inducción de rotor bobinado, máquinas de inducción doblemente alimentadas así como excitadores IEEE, reguladores y estabilizadores del sistema de potencia. (Figura 19)

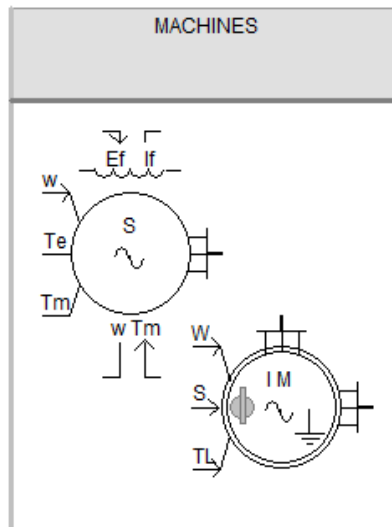
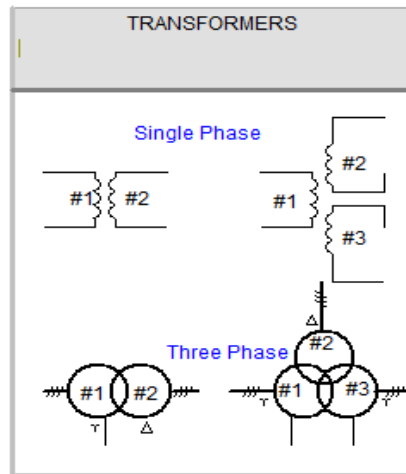


Figura 20. Maquinas. Fuente: PSCAD (2017)

• **Transformadores** (Transformers): Este módulo contiene modelos de transformadores monofásicos y trifásicos, autotransformadores así como modelos de transformadores de núcleo magnético universales equivalentes bajo representaciones IEC y ANSI. (Figura 21)



**Figura 21.** Transformadores. Fuente: PSCAD. (2017)

• **Líneas de Transmisión y Cables** (Transmission Lines and Cables): El desafío de modelado más difícil de cualquier programa de simulación de dominio de tiempo es modelar líneas de transmisión y cables. Aunque conceptualmente simple, la ciencia para modelar efectivamente la naturaleza dependiente de la frecuencia de una línea o cable de transmisión requiere la convergencia de muchas técnicas matemáticas. (Figura 22). La biblioteca incluye modelos de línea de transmisión de onda continua dependientes de frecuencia completa en los dominios de fase y modal. También se proporciona un modelo de línea de transmisión Bergeron que fue el primer modelo de onda viajera desarrollado y útil para estudios de 50 o 60 Hz.

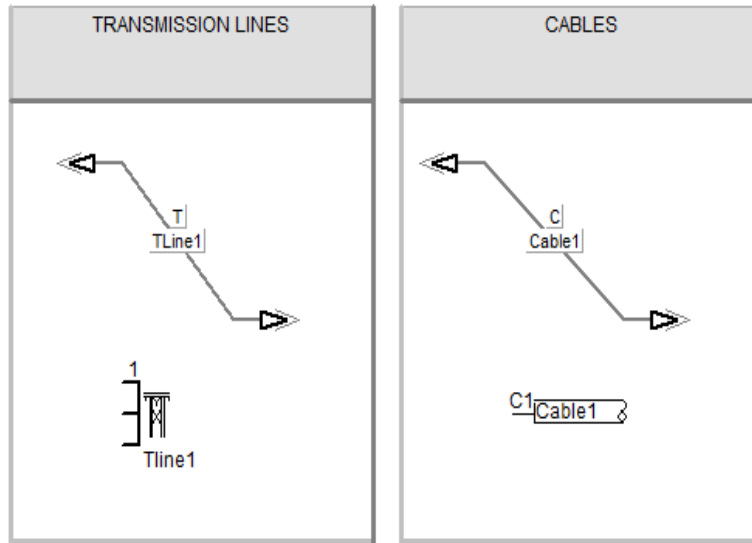


Figura 22. Líneas de Transmisión y Cables. Fuente: PSCAD. (2017)

- **Componentes del Secuenciador** (Sequencer Components): Los componentes del secuenciador forman parte de un grupo especial de elementos de control, que se pueden combinar para formar una "secuencia de eventos" basada en temporizadores, retrasos y / u otras condiciones.

- **Corrido Múltiple** (Multiple Run): Este componente proporciona un método visualmente programable para ejecutar una simulación muchas veces según el análisis de "qué pasa si". Los parámetros múltiples son controlables y pueden registrar muchos valores hasta determinar la mejor ejecución.

- **Corrido Óptimo** (Optimum Run): Optimum Run aprovecha los nuevos avances en optimizaciones de múltiples ejecuciones. Viene con los métodos de optimización Hookes-Jeeves, Golden Section y Simplex para reducir de forma inteligente el número de ejecuciones múltiples requeridas.

## CAPÍTULO 4

## PROGRAMA DE VÍDEOS

Dado que se va a emplear Camtasia Studio 7 para realizar el proyecto, el primer paso que se debe dar es acercarse al programa; es decir, familiarizarse con él y aprender a manejarlo, con el objetivo de poder sacar el máximo provecho del mismo y así conseguir satisfacer los objetivos planteados en el presente trabajo. Además, antes de comenzar con las grabaciones que se incluirán en los vídeos, se habrán definido los contenidos que se desean incluir. Así se optimizarán las grabaciones, y facilitará el posterior proceso de edición.

#### 4.1. Camtasia Studio 7

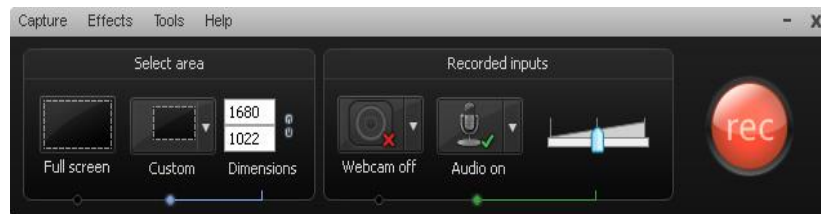
Como ya se ha dicho Camtasia dispone de un módulo central, *Camtasia Studio*, y una serie de aplicaciones. Para la primera parte del proyecto, grabación, edición y producción se empleará Camtasia Studio. (Figura 23)



**Figura 23.** Camtasia Studio. Fuente: Camtasia Studio (2017)

**4.2. Camtasia Recorder**

Con *Camtasia Recorder* se pueden grabar de forma sencilla y rápida lo que se quiera: la pantalla completa, una zona determinada, una ventana activa, o incluso se puede grabar desde la cámara web. En el caso del presente trabajo, se grabará la pantalla, y se optará por personalizar la zona de grabación fijando las dimensiones. Como puede observarse en la Figura 24. Camtasia permite activar la captación de audio durante la grabación, sin embargo se optará por desactivar esta opción. Cabe señalar, que también se puede acceder a la grabación de la pantalla desde el editor de Camtasia.



**Figura 24.** Barra de Herramientas de Camtasia Recorder. Fuente: Camtasia Studio. (2017)

**4.3. Camtasia Studio Editor**

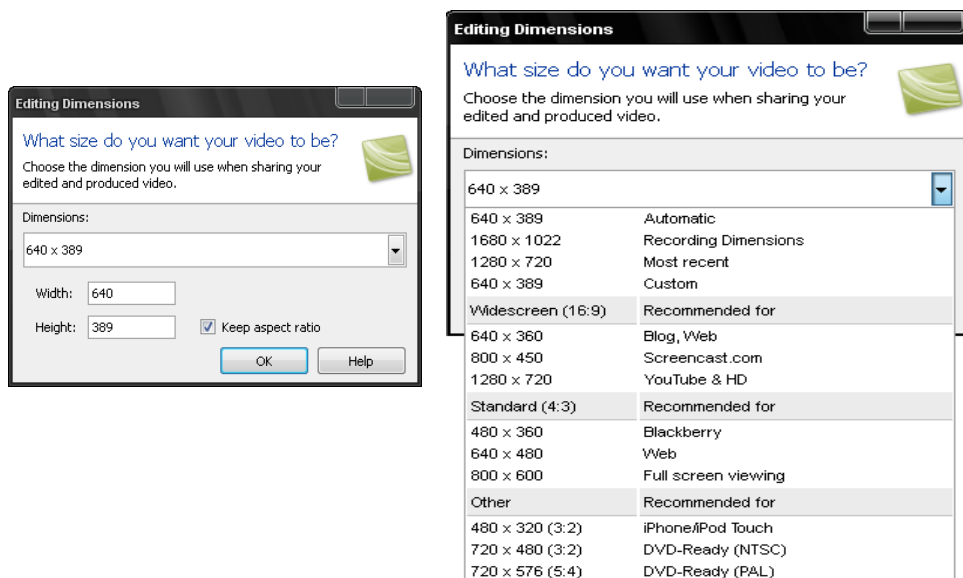
Para organizar y editar los clips que formarán parte del vídeo se usará el Camtasia Editor. Además, a través del editor se puede acceder al asistente de producción y a las herramientas para compartir los vídeos (YouTube, Screencast.com). De igual manera, Camtasia recomienda seguir una serie de pasos para lograr el éxito en los proyectos. En este caso, no se hará uso de todos ellos, pero sí se seguirá el orden que se indica a continuación:

1. Importar las imágenes, archivos grabados, secuencias de vídeo y audio y organizar los clips en la línea de tiempo.
2. Realizar ediciones básicas a los clips en la línea de tiempo. Cortar y dividir los clips, moverlos, ubicarlos en la posición correcta, agregar los marcadores, etc.
3. Grabar desde vídeo cámara (webcam) o añadir un clip de vídeo como Picture-in-Picture en la línea de tiempo.
4. Editar el audio.

5. Agregar narración de voz.
6. Añadir clips de título y transiciones.
7. Aplicar SmartFocus (zooms automáticos) y añadir a los fotogramas clave Zoom-Pan para que el espectador centre la atención en determinadas acciones específicas que van teniendo lugar en el vídeo.

8. Añadir otros efectos, tales como llamadas, subtítulos, concursos o encuestas Flash.

Ahora bien, siguiendo por tanto la secuencia de operaciones indicada por Camtasia, lo primero que se hará es introducir las secuencias previamente grabadas en la línea de tiempo. Al añadir por primera vez un clip a la línea de tiempo aparecerá el cuadro de diálogo *Editing Dimensions* (Figura 25). Se deberá fijar las dimensiones en función de las dimensiones que se quiere que tenga el vídeo final. El programa permite escoger entre las dimensiones más recomendables según su posterior método de distribución. Una vez añadidos, se puede ir cortando, eliminando, ajustando los clips que compondrán el vídeo. En este punto, es necesario destacar la importancia de tener claros y muy definidos los contenidos que se quieren desarrollar, ya que esto, sumado a la realización de una buena grabación, supondrá una optimización del proceso de edición.



**Figura 25.** Cuadro de Diálogo Editing Dimensions. Fuente: Camtasia Studio (2017)



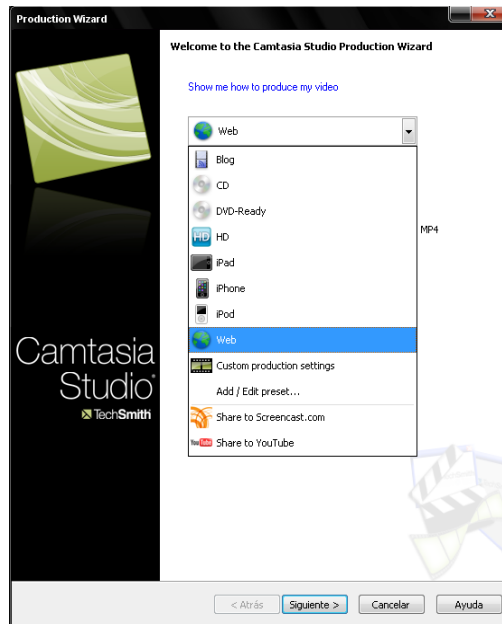
Lo siguiente sería editar el audio. Sin embargo el video a realizar en este trabajo no llevará sonido de fondo (música, efectos de sonido), por tanto no se incluirá esta sección. Cabe destacar, que la visualización de los vídeos adquiere mayor agilidad, y permiten al espectador centrar más la atención en lo que está viendo, facilitando así la comprensión. Por lo tanto, se produce un salto en el procedimiento, pero dadas las características y funcionalidad del programa esto no supone un inconveniente.

Siguiendo con el orden de ideas, el siguiente paso es añadir los clips de títulos y las transiciones. Los clips de títulos sirven para presentar los contenidos y también para transmitir información de forma estática, como puede ser los enunciados de los ejemplos. En algunos casos se han añadido o eliminado clips de títulos posteriormente, según las necesidades que han ido surgiendo.

Seguidamente, Camtasia recomienda aplicar SmartFocus, tecnología exclusiva de TechSmith, capaz de localizar y generar zoom en función del movimiento que se va produciendo en la pantalla, optimizando así la visualización. Es ideal para videos en los que el clip original o las dimensiones de la grabación son grandes (como pueden ser las grabaciones de pantalla completa) y se desea producir y difundir el vídeo final en un formato de menores dimensiones (por ejemplo, web, ipod). Dado que no es éste el caso, no se aplicará SmartFocus, y se optará por insertar manualmente los zoom que se deseen. De esta forma se aumentará las zonas de visualización que se consideren oportunas.

Posteriormente, y una vez que se tenga constituido de forma aproximada el futuro vídeo, se podrá comenzar a añadir los distintos efectos como llamadas, subtítulos, entre otros. Como es lógico, el proceso de edición requiere cierta soltura en el manejo del programa. Antes de disponer de las versiones finales de los vídeos se han realizado pruebas y distintas versiones. Los vídeos definitivos son fruto de un trabajo previo tanto de grabación como de edición.

Es importante mencionar, que tras el proceso de edición se debe producir el vídeo (Figura 26), el cual estará en un archivo basado en la secuencia de clips de vídeo, clips de audio, imágenes y los efectos que se haya añadido. Como ya se ha mencionado, Camtasia, permite elegir entre una serie de opciones de producción con los valores optimizados para distintos medios de distribución: blog, CD, DVD-Ready, HD, iPhone, iPod, Screencast.com, Web, o YouTube.

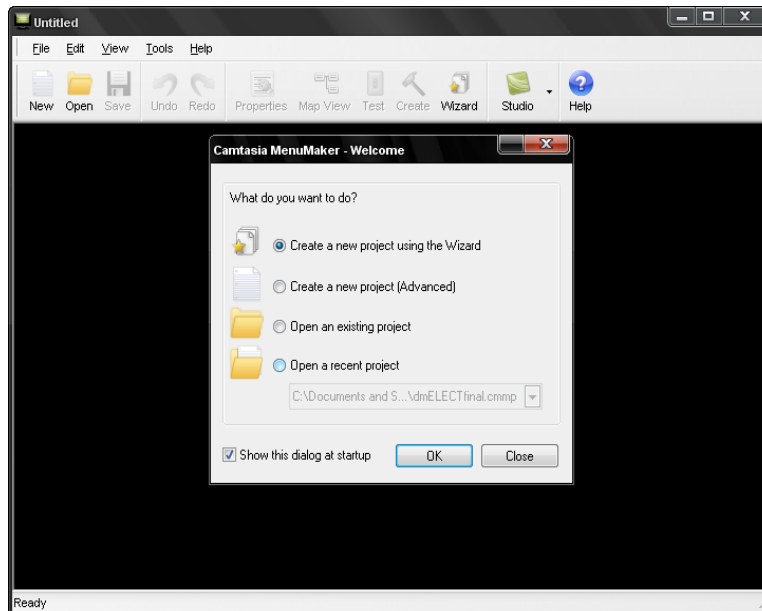


**Figura 26.** Menú de Producción Camtasia Studio.  
Fuente: Camtasia Studio. (2017)

En el caso de este trabajo, se ha optado por producir los vídeos para CD y en formato flash para su distribución online, puesto que en principio, serán sus posibles medios de distribución. No obstante, se podrían producir en cualquier otro tipo de formato, según las necesidades y demandas de los alumnos.

#### 4.4. Camtasia MenuMaker.

Por último, se hará uso de una de las aplicaciones de Camtasia, *Camtasia MenuMaker* (Figura 27). Esta aplicación permite crear menús para lanzar los archivos. MenuMaker crea una ubicación central para todos los archivos que se incluyan. De esta forma se podrán abrir y cerrar con facilidad los archivos o aplicaciones. Se dispone por tanto, de un menú que organiza los archivos y permite tener acceso directo a ellos sin necesidad de buscar en directorios o carpetas. De igual forma, se puede usar el menú directamente en el ordenador, o crear un CD/DVD que arrancará con el menú, con lo que será un medio perfecto de distribución.



**Figura 27.** Camtasia MenuMaker. Fuente: Camtasia Studio (2017)

Así mismo, el programa dispone de una serie de plantillas para hacer los menús, pero en este caso se optará por personalizarlos. Además en los menús se puede incluir todo tipo de archivos, tales como: documentos, archivos gráficos, archivos multimedia, etc. Adicionalmente, el programa también permite añadir submenús; es decir, permite añadir otro menú con origen en el menú principal, por lo que se puede disponer de un CD/DVD ordenado según el tipo de vídeo y la materia, lo que permite acceder a los distintos vídeos de una forma ágil y atractiva.

## CAPÍTULO 5

## DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE AUTOAPRENDIZAJE

Antes de dar inicio a este capítulo, el estudiante debe tener conocimiento de cómo puede descargar e instalar el software de simulación PSCAD. Para ello, se debe tomar en consideración los requerimientos de hardware y programas mínimos necesarios para la descarga e instalación de la aplicación, los cuales son los siguientes:

**Cuadro 5.** Hardware y Programas para la Instalación de PSCAD.

CATEGORÍA	MÍNIMO	RECOMENDADO
Procesador	500 MHz (Pentium 2)	3 GHz (Pentium 4)
Sistema Operativo	Windows 2000	Windows XP
Programas Adicionales	Digital Visual Fortran 5	Intel Visual Fortran 9.x
Memoria RAM	256 MB	1 GB
Disco Duro	500 Mb	40 GB
Video	SVGA (800 x 600)	XGA (1280 x 1024)
Otros	Unidad CD-ROM	Unidad CD-ROM

Una vez revisadas las características del pc donde se instalará el software de PSCAD, se procede a acceder a internet desde el navegador *Google Chrome* y posteriormente colocar en la página del buscador el siguiente link: <https://hvdc.ca/pscad/>

Inmediatamente de haber dado clic en el link indicado arriba, se abre una ventana donde se puede observar la página de bienvenida a la base de conocimientos de PSCAD, las aplicaciones de ingeniería, modelos y ejemplos, uso de PSCAD, soporte técnico, manuales, mantenimiento, versión gratuita, videos, entre otras categorías. Estando en esta ventana, se debe proceder a accesar el icono de versión gratuita, lo que abrirá una ventana nueva.

En el texto de la versión gratuita, se indica dónde debe darse clic para descargarla. La misma se hace de manera automática y puede visualizarse en la carpeta de descargas del ordenador bajo el nombre “setup.exe”. Al abrir dicha descarga, aparecerá un recuadro de advertencia de seguridad, al cual se le debe dar clic sobre el icono de “ejecutar”. Una vez hecho esto, se comienza a instalar el software de PSCAD y a continuación, el programa pedirá que se registre en una cuenta MyCentre. Al terminar el registro, se podrá utilizar la aplicación sin ninguna complicación.

En el caso del presente trabajo, el software se utilizó para desarrollar un video tutorial como herramienta para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica mediante el uso de PSCAD. Cabe destacar, que un transitorio electromagnético es la respuesta instantánea de un sistema eléctrico debido a un cambio repentino de su estado inicial a un estado diferente o final, causado por maniobras dentro del sistema eléctrico, por fallas o por descargas atmosféricas sobre un elemento que conforma el sistema eléctrico.

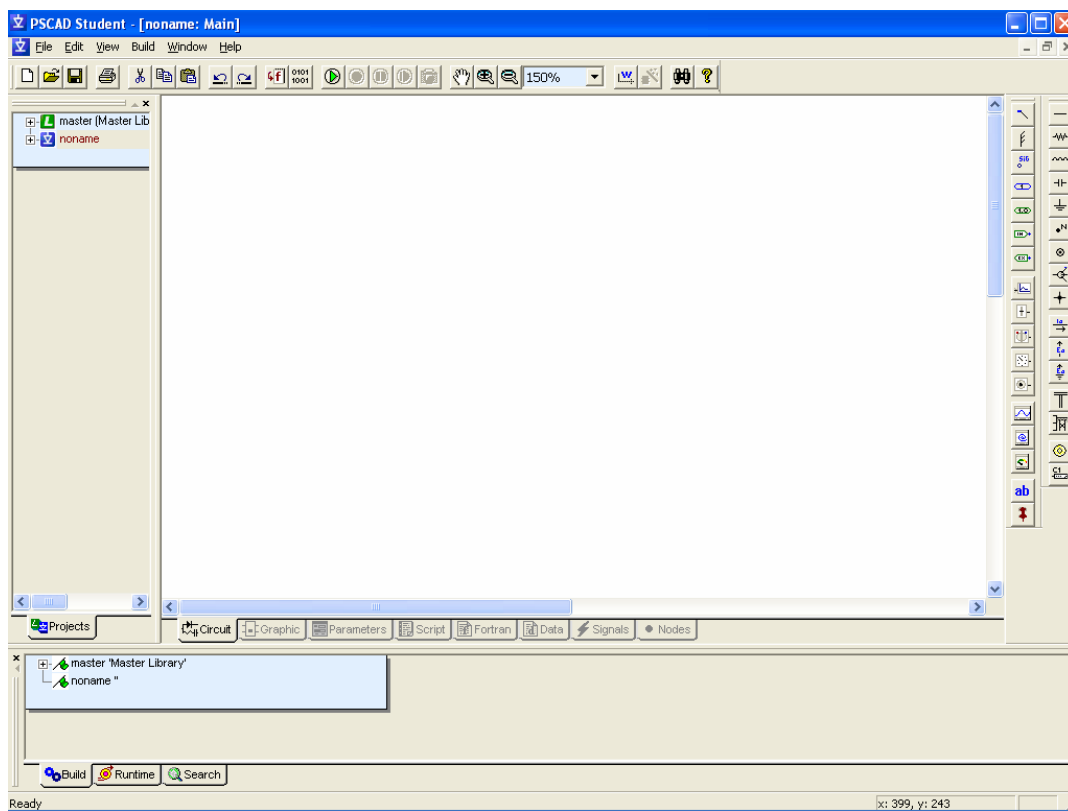
Es importante señalar, que el período transitorio es sumamente corto, haciendo una comparación con el tiempo empleado en estado estacionario, el período transitorio electromagnético es insignificante, pero a la vez tiene un gran impacto en el sistema, debido a que en estos pequeños períodos los componentes del sistema son sometidos a grandes esfuerzos por corrientes y voltajes excesivos que pueden llegar a dañar permanentemente al equipo; ya que dependiendo el equipo involucrado, puede afectar a plantas de generación, subestaciones, líneas de transmisión, e incluso dejar sin servicio eléctrico a toda una provincia, e incluso a un país.

En la actualidad, el análisis de los transitorios electromagnéticos es un componente fundamental que se incluye en el estudio de los sistemas de energía eléctrica, en la operación, confiabilidad, planificación, calidad de suministro eléctrico, entre otras. Por estas razones, es necesario tener una idea clara de los eventos que ocurren durante los períodos transitorios para poder hacer correctivos en el manejo de los sistemas de energía eléctrica tanto en estado estable como en el transitorio.

Ahora bien, en el presente capítulo será planteado un conjunto de cuatro ejemplos que visualizarán perfectamente el uso del software de simulación PSCAD. En el primero, “Ejercicio1”, se explicará paso a paso y con la ayuda de algunos pantallazos el uso correcto del programa. Los casos “Ejercicio2”, “Ejercicio3” y “Ejercicio 4” se van presentando con menos detalles a fin de que el estudiante, con la ayuda de las tabulaciones ofrecidas en cada ejercicio, pueda ir desarrollando su propio criterio para la configuración de esquemas eléctricos y pantallas de visualización de las variables así como del proceso de simulación, y de ser necesario poder detectar posibles errores presentados durante la simulación y corregirlos. Por último, con los resultados obtenidos de las gráficas de simulación poder sacar sus propias conclusiones del problema planteado. Como se observará los ejercicios

desarrollados son sencillos pero muy completos y de fácil aplicación.

El objetivo final de este proyecto es simplemente darle al estudiante una guía de estudio, en el que se incluyan estos ejemplos, pudiendo así el educando acceder a ellos sin problemas, estudiarlos, analizarlos y servirle de plataforma para el desarrollo de nuevos proyectos. Adicionalmente, y como un complemento de esta guía de estudio, se presentará también un Video explicativo del caso “Ejercicio1” a fin de mejorar el conocimiento del programa PSCAD, así como también facilitar el acercamiento del programa a los alumnos, los cuales podrán aprender el manejo del programa y la resolución de diferentes proyectos de una forma más cómoda y amigable. El PSCAD es un programa diseñado para trabajar en un entorno Microsoft Windows, de forma que cuando se inicia el programa aparece la ventana mostrada en la figura 28.



**Figura 28.** Programa PSCAD. Fuente: PSCAD (2017)

Dentro de este entorno gráfico se han de distinguir las siguientes zonas de trabajo:

-*Área de Trabajo:* parte central en blanco en la figura anterior, donde se dibujaran los sistemas eléctricos.

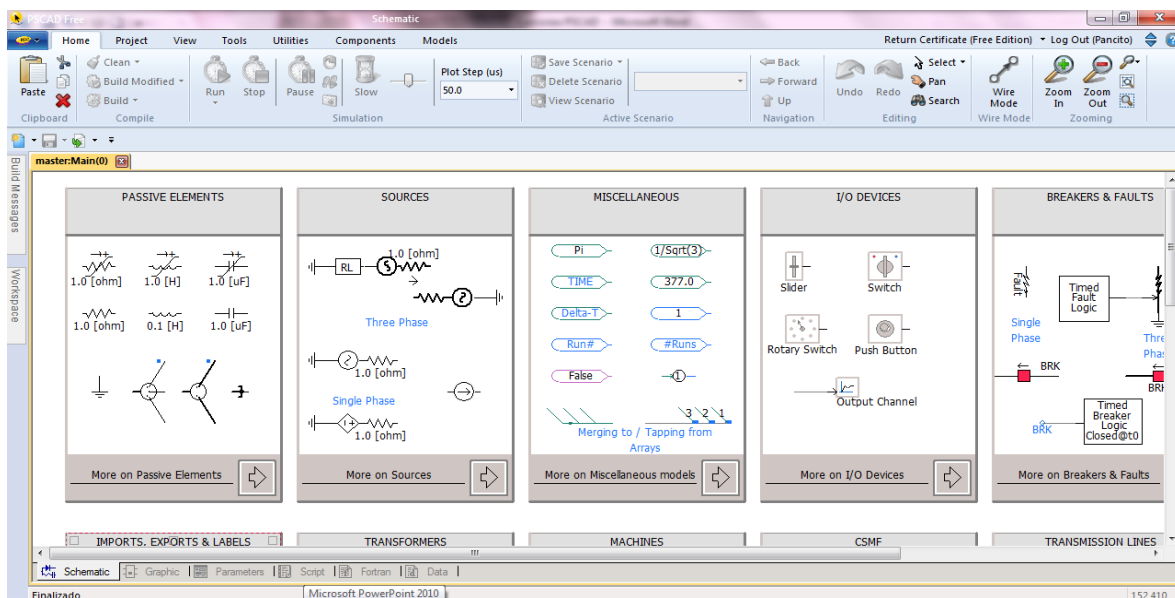
-*Área de Proyectos:* ventana donde se muestran proyectos o esquemas eléctricos que se están utilizando y recibe el nombre de WORKSPACE o PROJECTS.

-*Paletas de Componentes:* donde se sitúan botones de aquellos elementos más utilizados, tanto eléctricos (Electrical Palette) como de control (Control Palette), y desde donde se pueden bajar componentes tales como resistencias, conductores de conexión, etc.

-*Ventana de salida:* donde se nos informa del estado de la simulación, errores que pueda tener el circuito, etc.

-*Barra Principal de Herramientas:* desde la que se accede a las funciones cerrar y abrir proyectos, zoom, inicio de la simulación, copiar, pegar, etc.


En este capítulo se procederá a enumerar y revisar los diferentes pasos para realizar simulaciones de sistemas eléctricos en PSCAD, pero utilizando su versión gratis tipo **Estudiante** o **Free Edition**, limitado a 15 nodos. Esta versión gratuita es perfecta para simular sistemas pequeños y para usar como una herramienta de demostración. Una edición completa, limitada sólo por el tamaño de la red y algunas otras características no esenciales. Esta Free Edition simplifica enormemente el despliegue, el mantenimiento y el uso del software.



**Figura 29.** Menu del PSCAD. Fuente: PSCAD (2017)

Para el estudio de simulación de sistemas eléctricos se realizarán cuatro ejercicios básicos donde se irán mostrando paso a paso las potencialidades del software en estudio. Los pasos a seguir, para todos los ejercicios a realizar, serán los siguientes:

**A. Crear un Nuevo Proyecto**

Para crear un nuevo proyecto, se puede proceder de dos formas distintas, bien sea desde el botón correspondiente de la barra de herramientas o desde el menú del fichero PSCAD Button, situado en la parte superior izquierda bajo la figura . Este fichero contiene opciones disponibles para todas las aplicaciones. Lo primero es pulsar el PSCAD Button (Figura 30) y desplegar el menú. Luego seleccionar New y posteriormente New Case (Figura 31); es decir, “File > New > New Case”

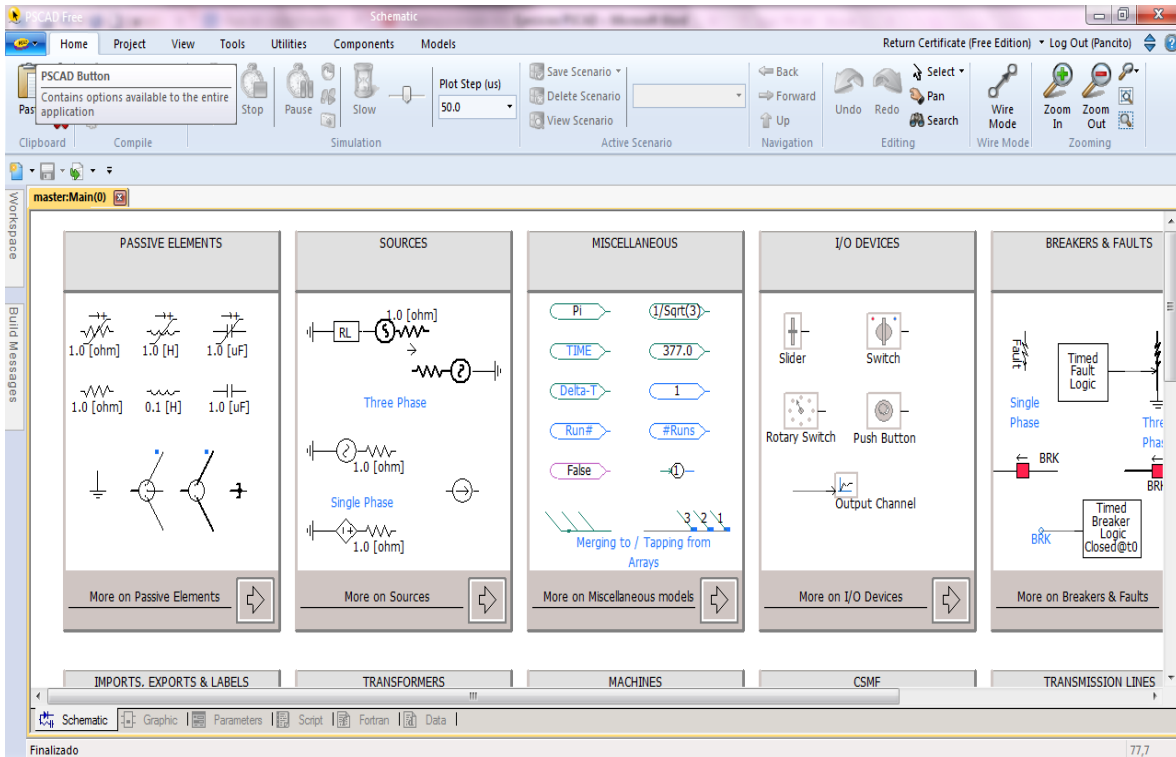


Figura 30. PSCAD Button. Fuente: PSCAD (2017)



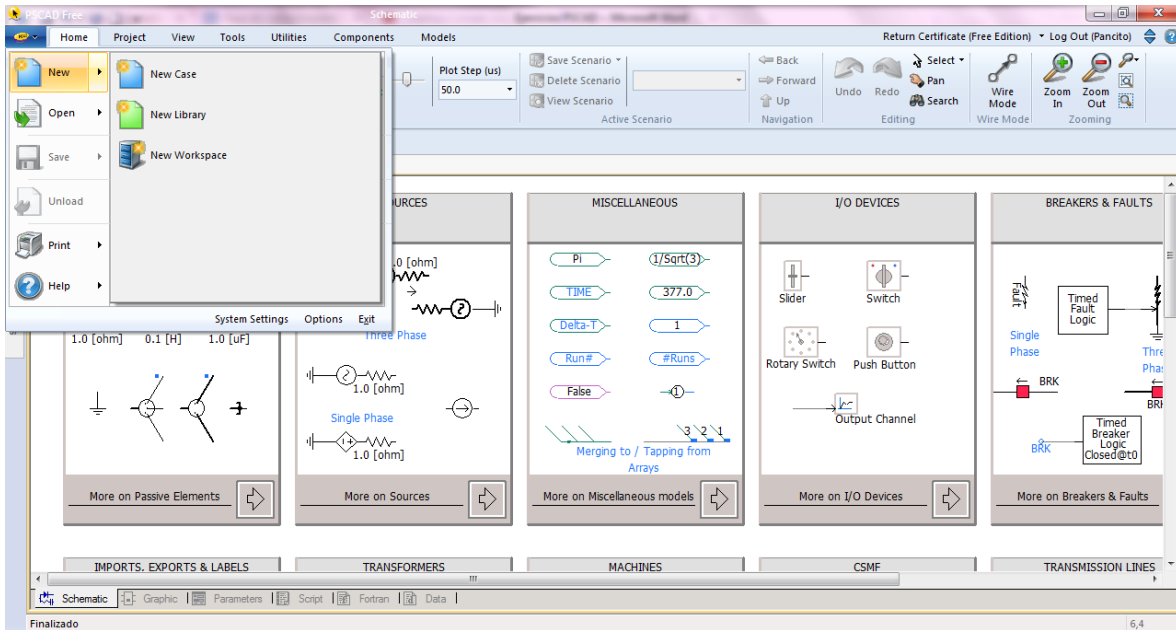


Figura 31. New. Fuente: PSCAD (2017)

Ahora hay que ponerle un nombre al nuevo proyecto, para ello se pulsa sobre “New Case” y aparece la siguiente pantalla (Figura 32):

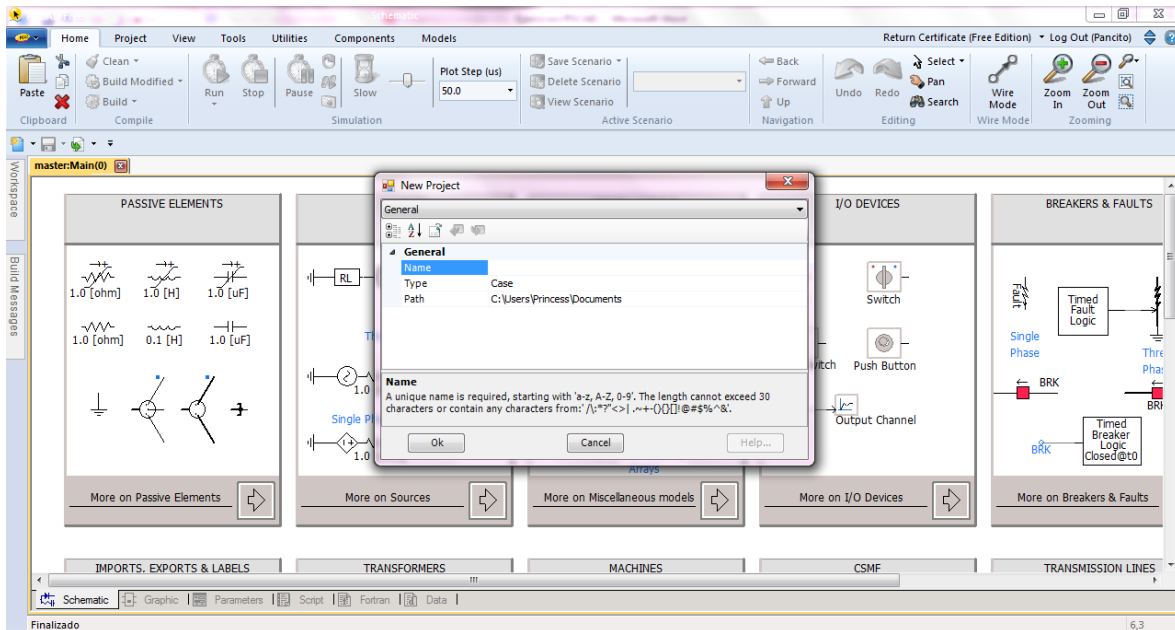
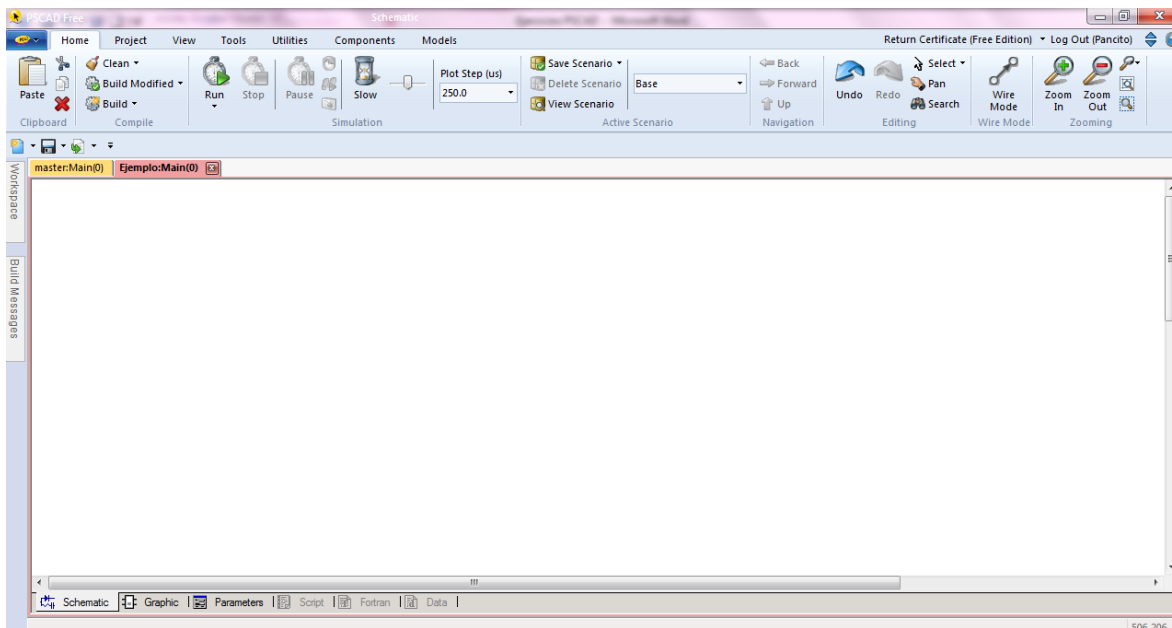


Figura 32. New Case. Fuente: PSCAD (2017)


A continuación se pulsa el botón Ok, en la parte inferior del recuadro New Project, y luego, una vez que la palabra “Name” cambie a color azul claro, se pulsa al lado de esta y se procede entonces a poner el nombre del proyecto. En este caso el nombre del nuevo proyecto será *Ejemplo* y luego se pulsa nuevamente sobre el botón Ok. Inmediatamente aparecerá otra pantalla (Figura 33) donde ya se ve el área de trabajo en blanco, en la parte central de la pantalla, donde se han de dibujar los sistemas eléctricos del nuevo proyecto a realizar.

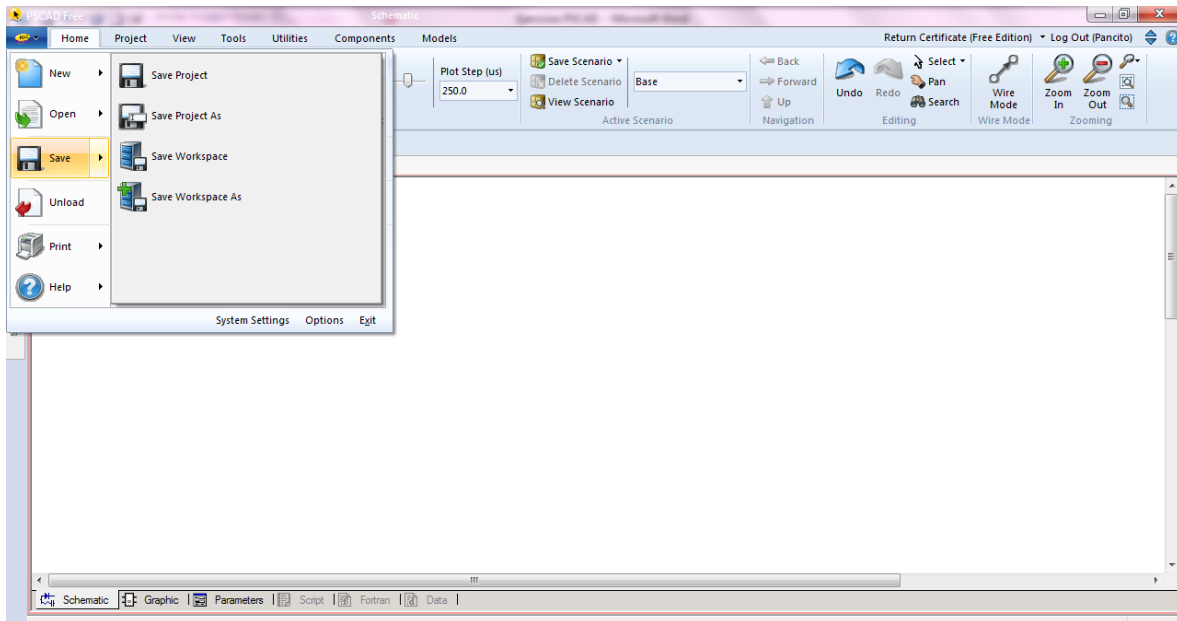


**Figura 33.** Área de Trabajo PSCAD. Fuente: PSCAD (2017)

Aquí, encima del área de trabajo y al lado del botón master: Main(0), en amarillo, aparece el nombre del nuevo proyecto *Ejemplo: Main(0)* en color rosado.

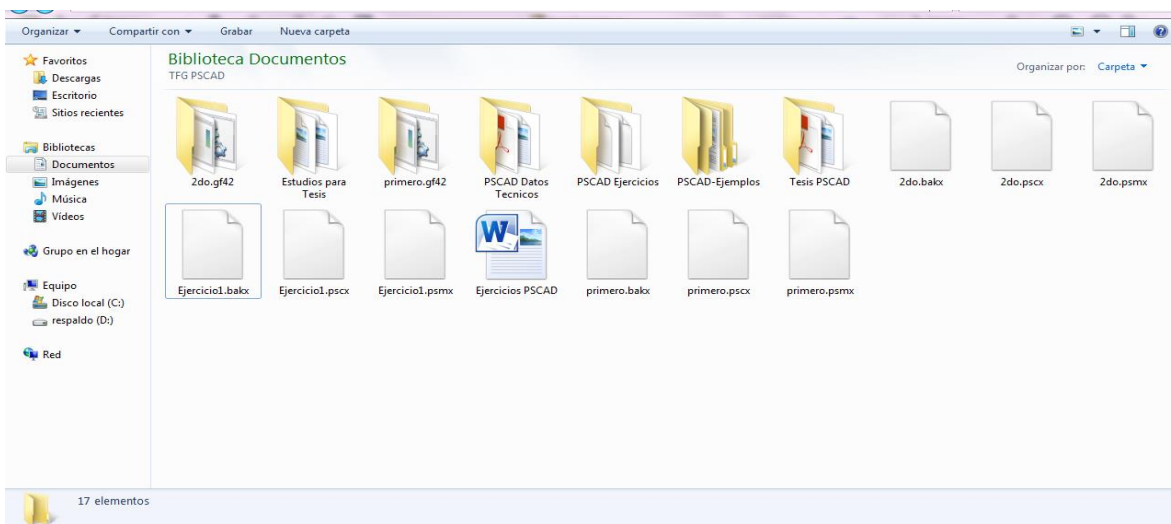
### B. Guardar el Nuevo Proyecto

Desde el menú del fichero PSCAD Button,  en la parte superior izquierda de la pantalla principal también se puede almacenar este nuevo proyecto con el nombre ya seleccionado. Para ello al desplegar el menú del PSCAD Button se escoge el ítem “Save”, se pulsa y luego “Save Project As” (Figura 34). A continuación se pide escoger en que archivo de “Mis Documentos” se ha de guardar el nuevo proyecto. Finalmente, al tener la carpeta seleccionada se pulsa “Guardar” y ya quedará almacenada en la misma, en este caso, como *Ejemplo.pscx* y *Ejemplo.psmx* para futuras aperturas (Figura 35).



**Figura 34.** Save Project As. Fuente: PSCAD (2017)

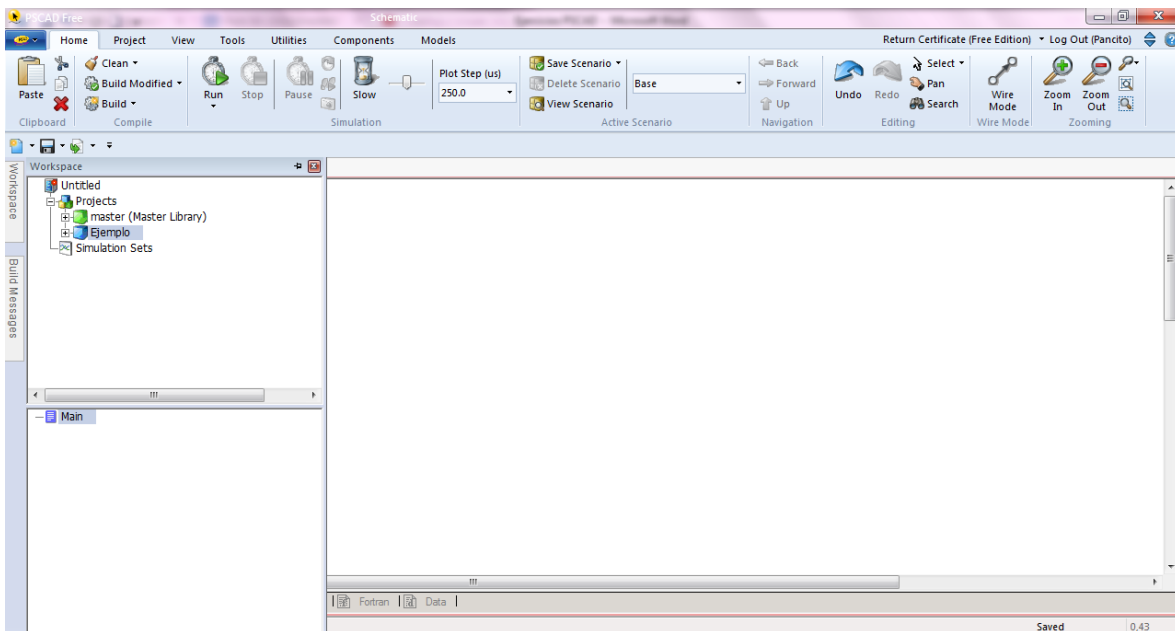
En el PSCAD se generan una serie de ficheros en cada simulación, siendo el principal de ellos aquel donde se almacena el esquema y cuya extensión es “.psc”,



**Figura 35.** Ejemplo.pscx y Ejemplo.psmx. Fuente: PSCAD (2017)

### C. Comprobación de que el Proyecto ya ha sido Creado y Almacenado

Una vez que el nuevo proyecto ha sido creado y guardado en la Ventana de Proyectos éste tiene que aparecer ahí junto a la librería principal (Master Library) así como cualquiera otro proyecto que se haya cargado anteriormente. Para confirmar lo antes mencionado se lleva el cursor hasta el Área de Proyectos, al lado izquierdo de la pantalla, sobre el botón “Workspace” (Figura 36), la cual se despliega y muestra la ventana “Projects”, luego más abajo el archivo “master (Master Library)” identificado con una caja verde y aún más abajo el archivo “Ejemplo” (en caja azul), indicando que éste ya forma parte del menú “Projects”.



**Figura 36.** Workspace. Fuente: PSCAD (2017)

Cuando se tienen varios proyectos cargados se hace necesario ordenarle al programa cual se va a utilizar, es decir, cuál de todos está activo. El que está activo tiene su icono en color azul, mientras que el resto estará en gris. La Librería Principal (master) estará marcada siempre con su icono en verde. Para activar un proyecto hay que situarse con el ratón sobre su nombre, en este caso “Ejemplo”, se hace “click” con el botón derecho y se despliega el menú de Control de Proyectos. En ese momento hacemos “click” sobre la opción “Set As Active”. Además, haciendo “doble click” sobre el nombre del proyecto se puede ver el esquema asociado a él. Seguidamente se plantearán y desarrollarán los ejemplos

mencionados al inicio del capítulo, para una mejor comprensión del funcionamiento del software.

### 5.1. Ejercicio No 1

Se pide diseñar un circuito de CA cuyos componentes sean una resistencia, una bobina y una fuente de tensión (Figura 37). Los valores de los componentes son los siguientes:

Resistencia:  $R = 1 \Omega$

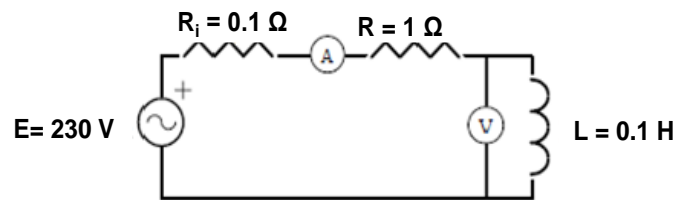
Bobina:  $L = 0.1 \text{ H}$

Fuente de tensión:  $E$

Valor eficaz tensión:  $E = 230 \text{ V}$

Frecuencia:  $50 \text{ Hz}$

Resistencia Interna:  $R_i = 0.1 \Omega$



**Figura 37.** Circuito de CA del Ejercicio1. Fuente: PSCAD (2017)

Se pide simular este esquema con el uso del PSCAD para obtener la respuesta transitoria y en régimen permanente del circuito mostrado, graficando la tensión de la bobina y la intensidad del circuito. Para este y los siguientes ejercicios se harán los primeros pasos descritos anteriormente y luego se tratará cada ejercicio en particular (Figuras 38 a la 44).

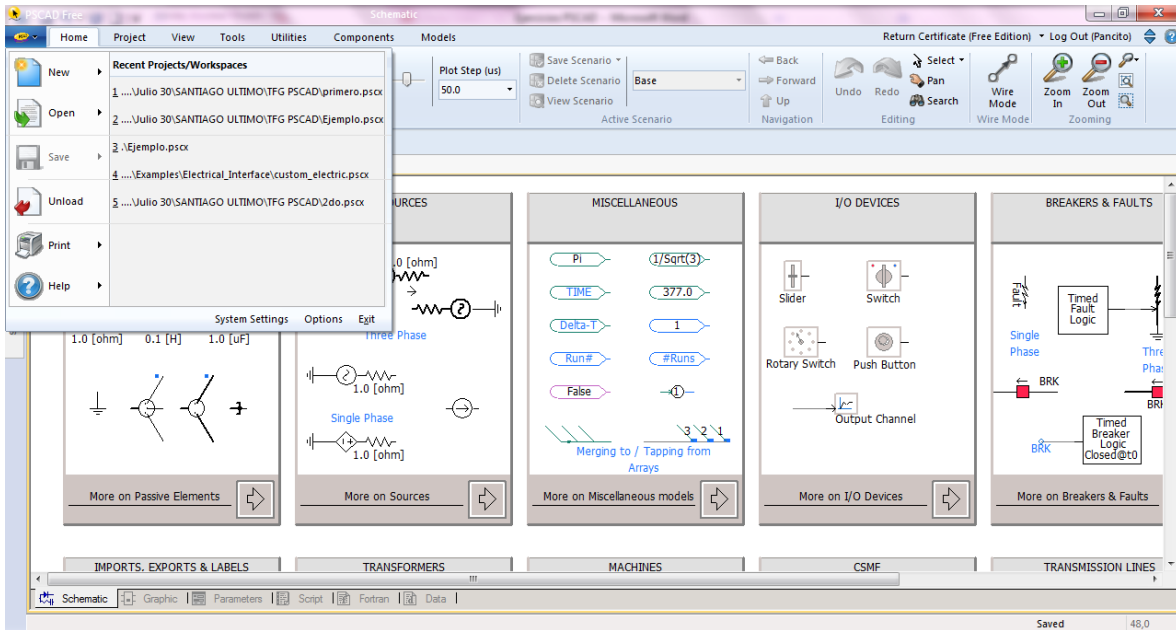


Figura 38. Comando New. Fuente: PSCAD (2017)

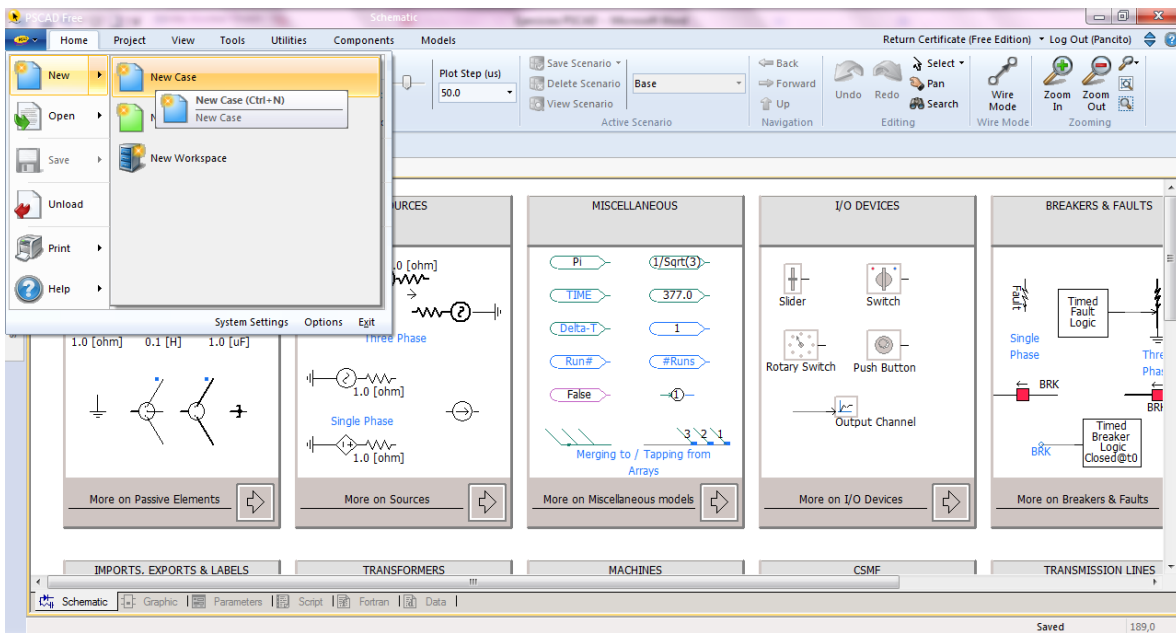


Figura 39. Comando New Case. Fuente: PSCAD (2017)

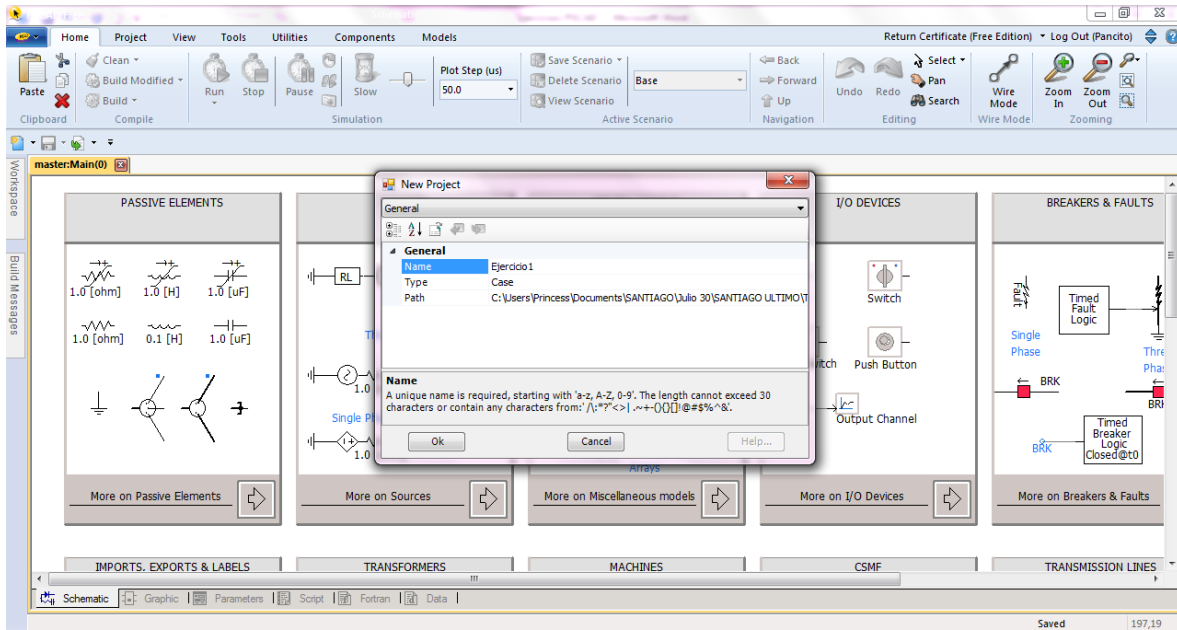


Figura 40. Nombre del Nuevo Proyecto Ejercicio1. Fuente: PSCAD (2017)

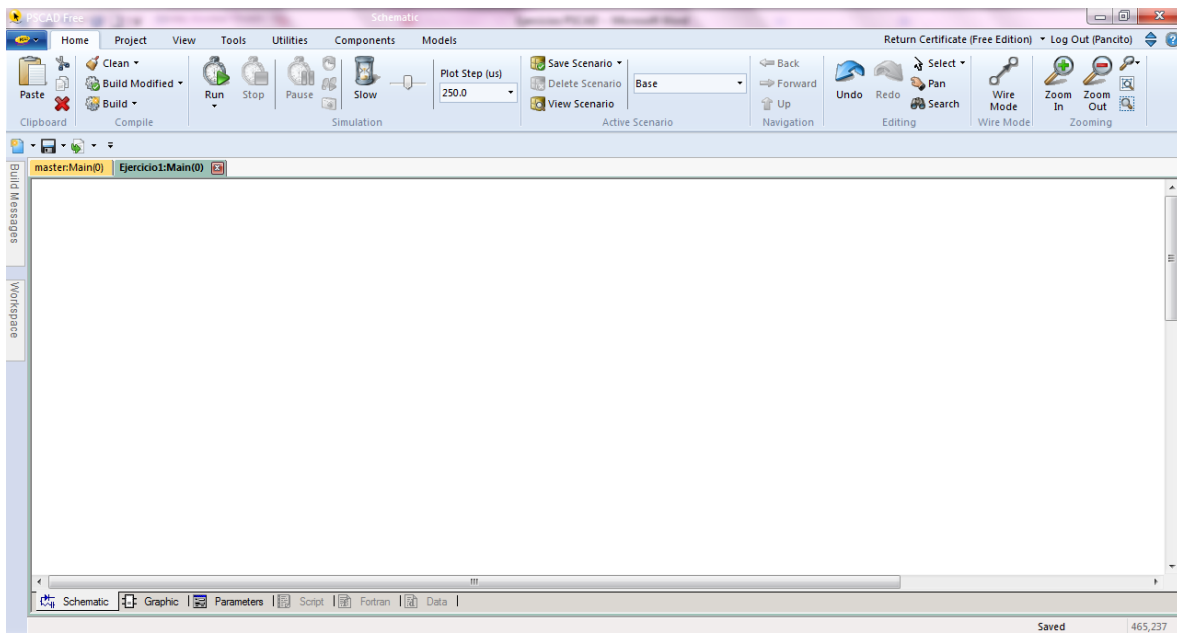


Figura 41. Área de Trabajo del Nuevo Proyecto Ejercicio1. Fuente: PSCAD (2017)

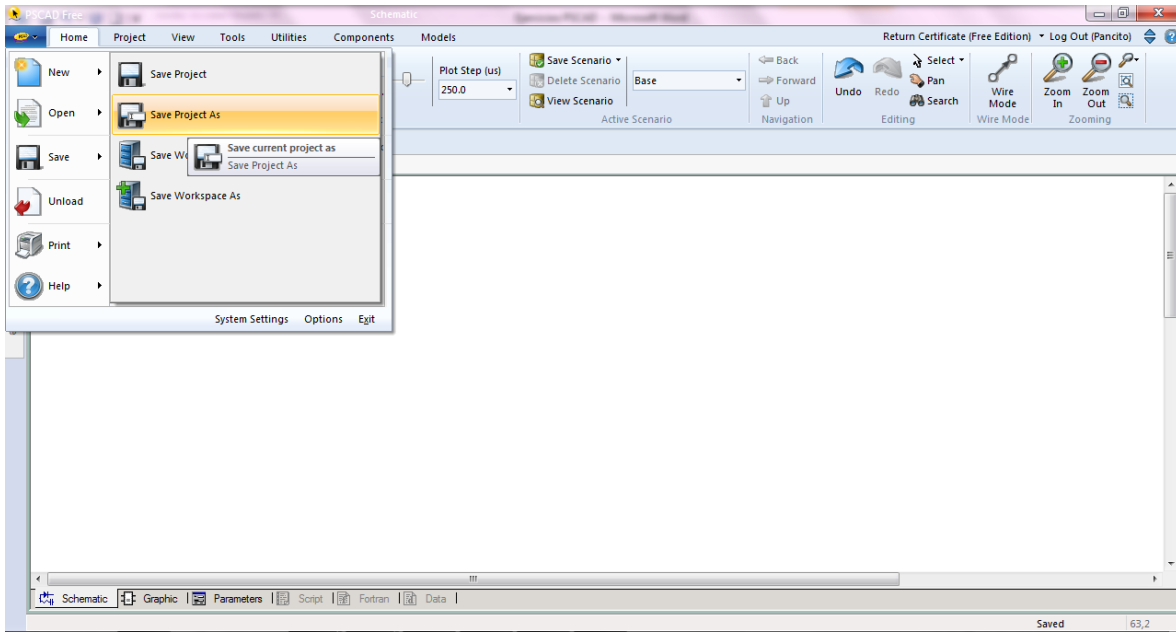


Figura 42. Pasos para Grabar Ejercicio1. Fuente: PSCAD (2017)

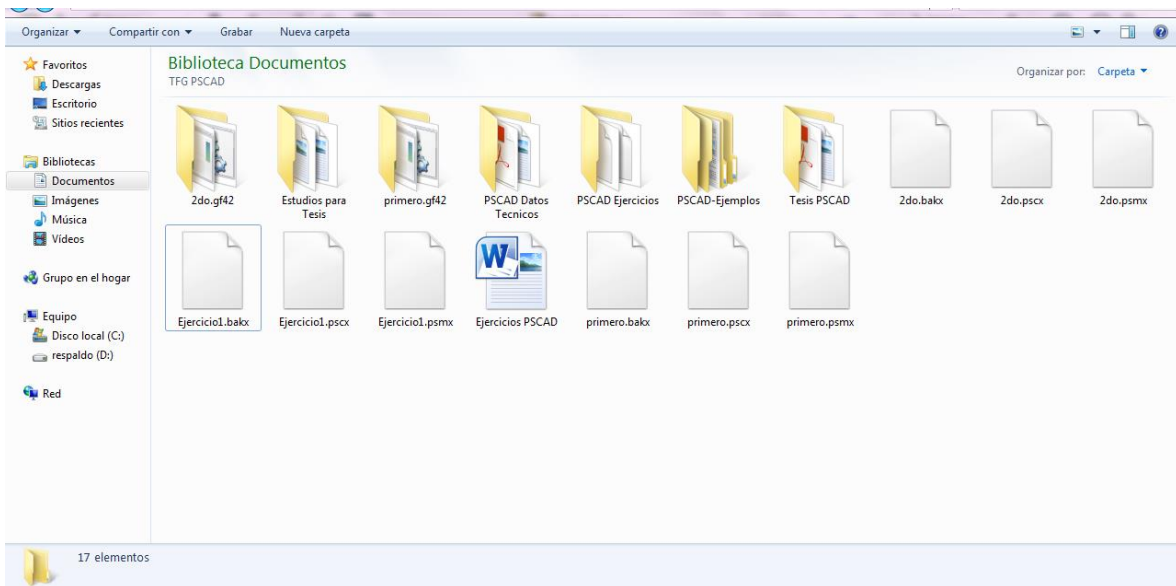
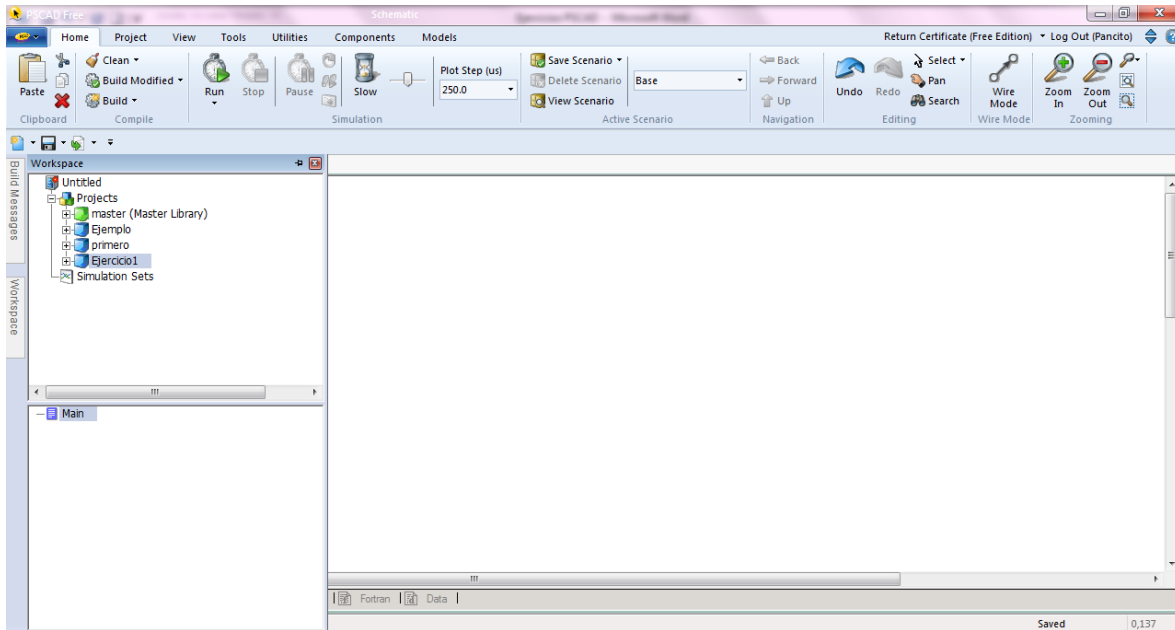


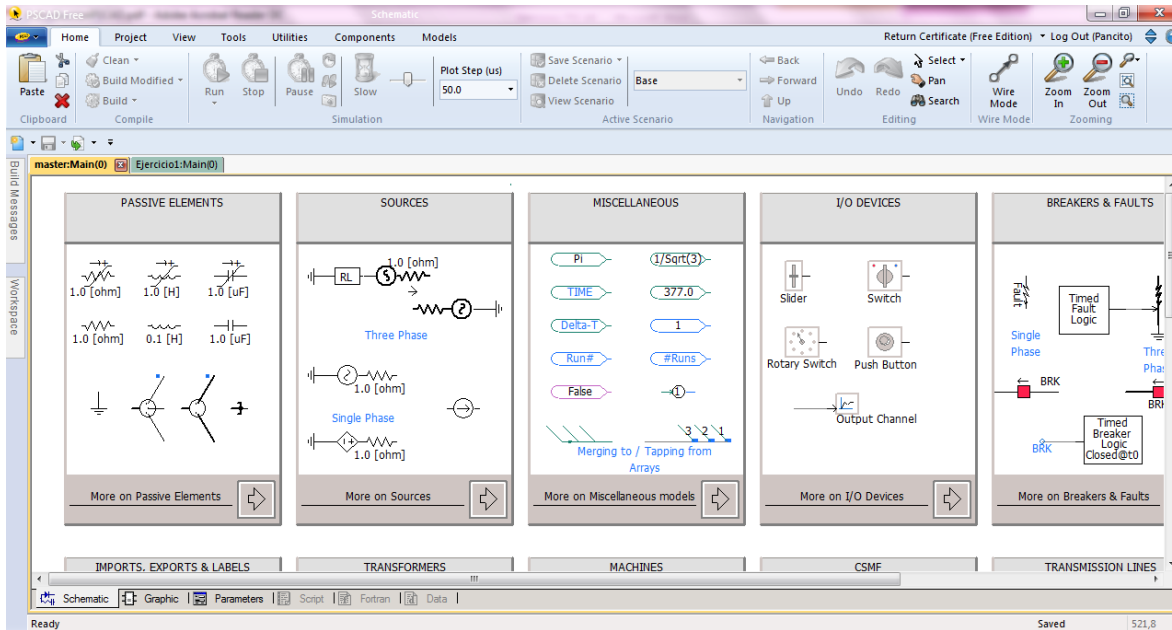
Figura 43. Ejercicio1 grabado en la Biblioteca de Documentos. Fuente: PSCAD (2017)





**Figura 44.** Icono de Ejercicio1 en Master Library. Fuente: PSCAD (2017)

Para este momento ya se ha creado el nuevo proyecto con el nombre de Ejercicio1, ha sido grabado y se ha comprobado que está dentro de la ventana Projects. Ahora se comenzará a resolver el ejercicio con el apoyo del PSCAD. Lo primero es comenzar a dibujar el circuito en el área de trabajo comenzando por la fuente de tensión. Para ello se hace “doble click” sobre Master Library con lo que se mostrarán en el área de trabajo los elementos de la librería. A continuación se busca en el módulo de Fuentes (*Sources*) una fuente de tensión monofásica, con resistencia interna y aterramiento (Figura 45).



**Figura 45.** Apertura de Master Library en Ejercicio1. Fuente: PSCAD (2017)

Si la fuente de tensión que se busca no está en la primera grafica se hace “click” sobre el recuadro “More of Sources” a fin de abrir una segunda grafica donde hay más modelos de fuentes. Al conseguir la opción deseada se coloca el ratón sobre ella y se hace “click” con el botón de la derecha apareciendo un menú desde el que se puede copiar el elemento seleccionado utilizando el comando “Copy”. Luego se hace “doble click” sobre el área de trabajo del proyecto Ejercicio1 y se pega la fuente de tensión con el comando “Paste”. Haciendo “click” con el botón de la derecha sobre el área de trabajo aparecerán siempre los comandos “Copy” y “Paste”.

A continuación se han de colocar los parámetros que corresponden a la fuente de tensión según los requerimientos del problema. Para ello se hace “doble click” con el botón derecho sobre la fuente de tensión, para que aparezca un menú donde se pulsará el ítem “Edit Parameters” (muestra parámetros de la fuente de tensión agrupados en las categorías: Configuration, Signal Parameters, Resistance, Monitoring, etc). (Figuras 46 – 47)

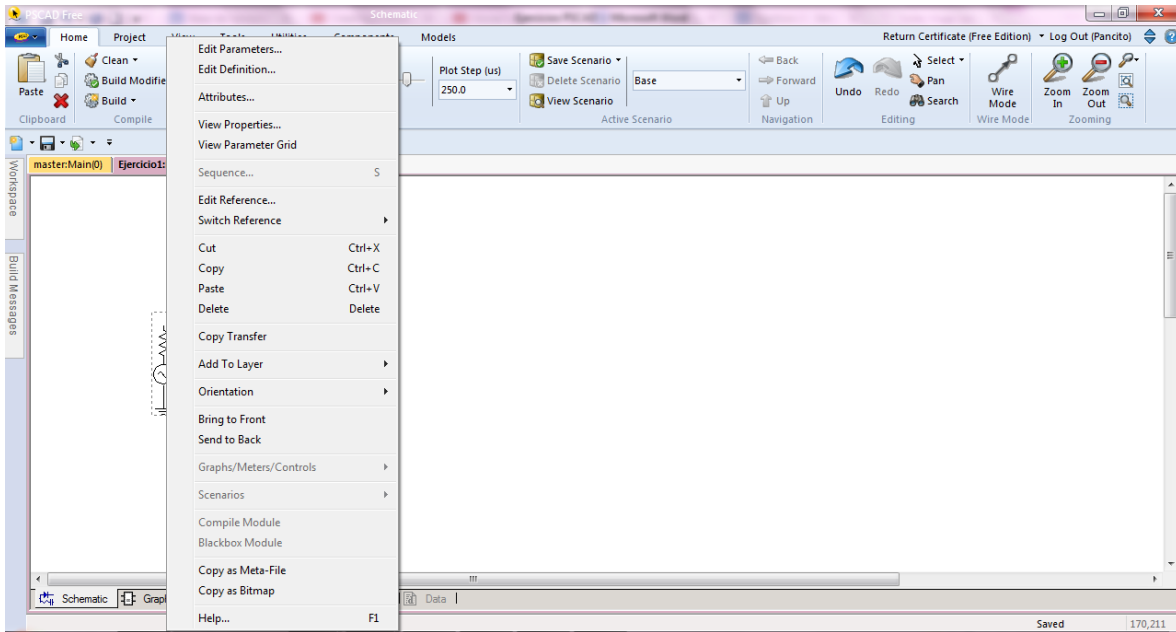


Figura 46. Edición de Parámetros para la Fuente. Fuente: PSCAD (2017)

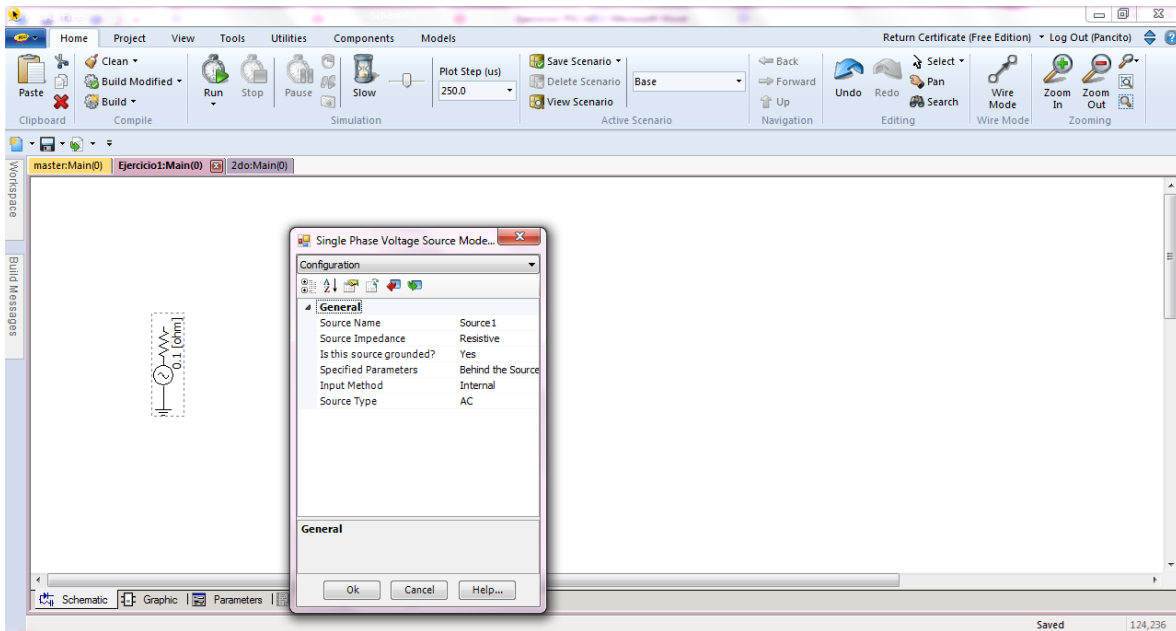


Figura 47. Magnitudes de la Fuente. Fuente: PSCAD (2017)

A la fuente se le incorporaran los siguientes valores: (Figura 48)

- **Configuration:** (principales parámetros de la fuente)

Source Name: Fuente

Source Impedance: Resistive (impedancia en serie con la fuente)

Is this source grounded? Yes (está unida al nudo de referencia)

Input Method: Internal

Source Type: AC

- **Signal Parameters:** (parámetros nominales de la fuente)

Magnitud: 0.230 kV (voltios de la tensión de la fuente)

Frequency: 50 Hz

Initial Phase: 0.0 [°]

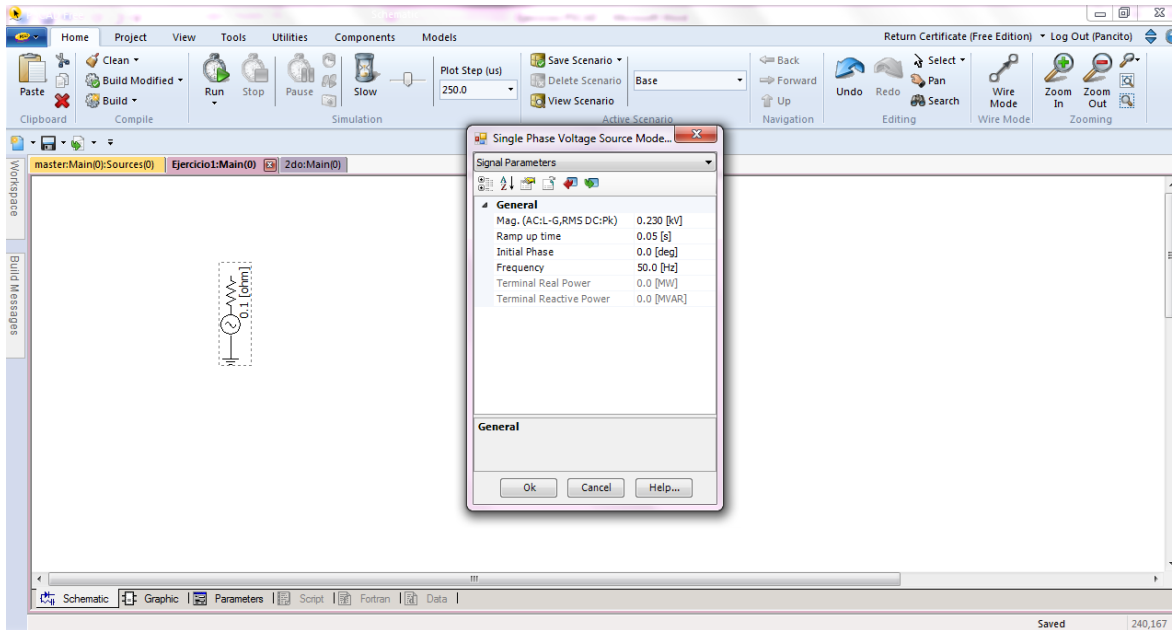
Ramp up Time: 0.05 [sec] (tiempo de inicialización, la tensión de la fuente vale cero al inicio y tarda 0.05 segundos en alcanzar los 0.230 kV)

- **Resistance:** (valor de la resistencia en serie)

Resistance: 0.1 [ohm]

- **Monitoring:** (variables de monitorización de la fuente)

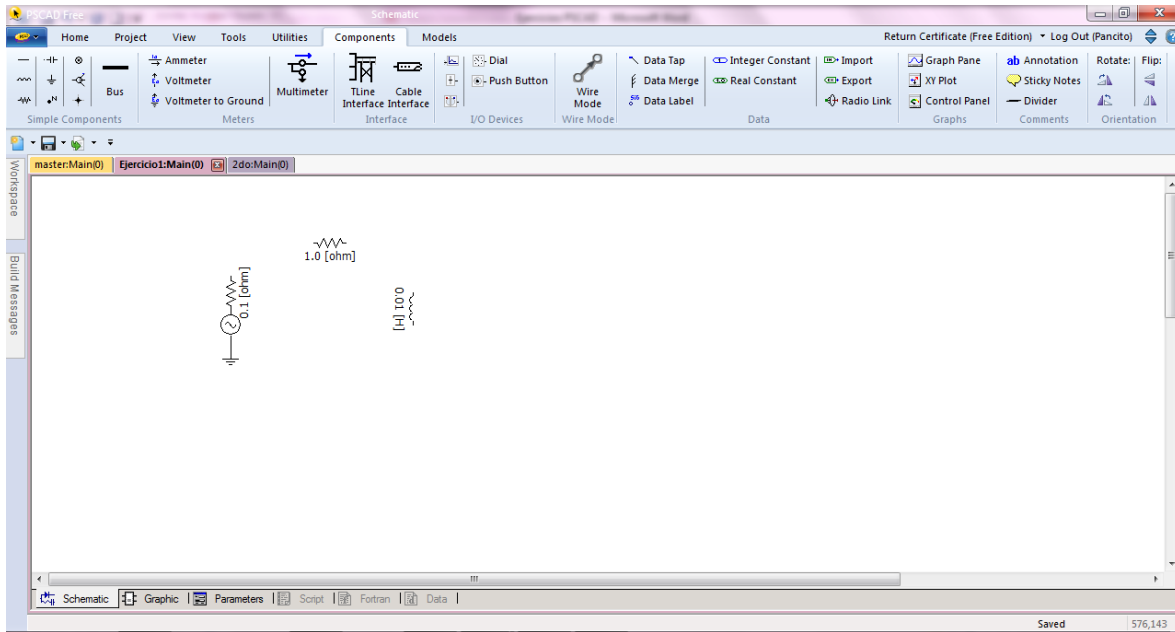
Name for Source Current en kA:  $I_{out}$  (nombre de la variable asociada a la corriente de la fuente).



**Figura 48.** Fuente de Tensión Parametrizada. Fuente: PSCAD (2017)

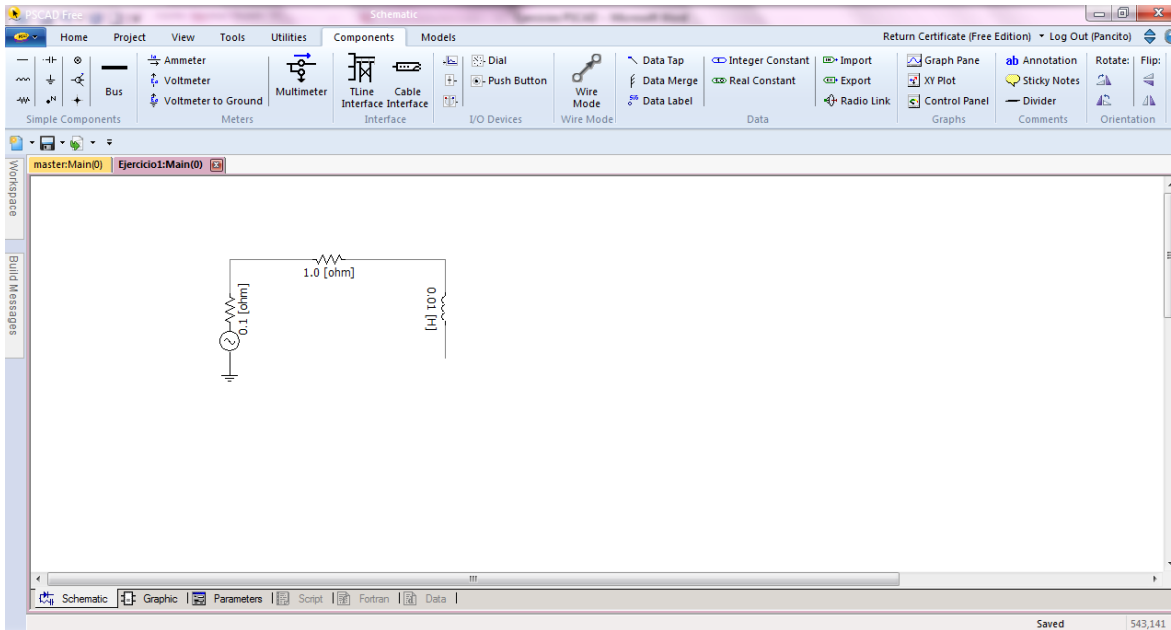
El siguiente paso es colocar y parametrizar el resto de los componentes del circuito, en este caso la resistencia y la bobina. Para esta operación se repiten los pasos anteriores situando una resistencia y una bobina desde Master Library haciendo “doble click” sobre el módulo Passive Elements, o se pueden escoger directamente con los botones de las paletas de Componentes, arriba y al centro de la Barra de Controles y Elementos.

Para poner las magnitudes de la resistencia (resistance) a  $1 \Omega$  y de la bobina (inductance) a  $0.01 \text{ H}$  simplemente se hace “doble click” sobre ellas. Si hace falta rotar los elementos se hace “click” sobre ellos y se pulsa la tecla R ó L, según sea necesario (Figura 49).




**Figura 49.** Resistencia e Inductor en el Área de Trabajo. Fuente: PSCAD (2017)

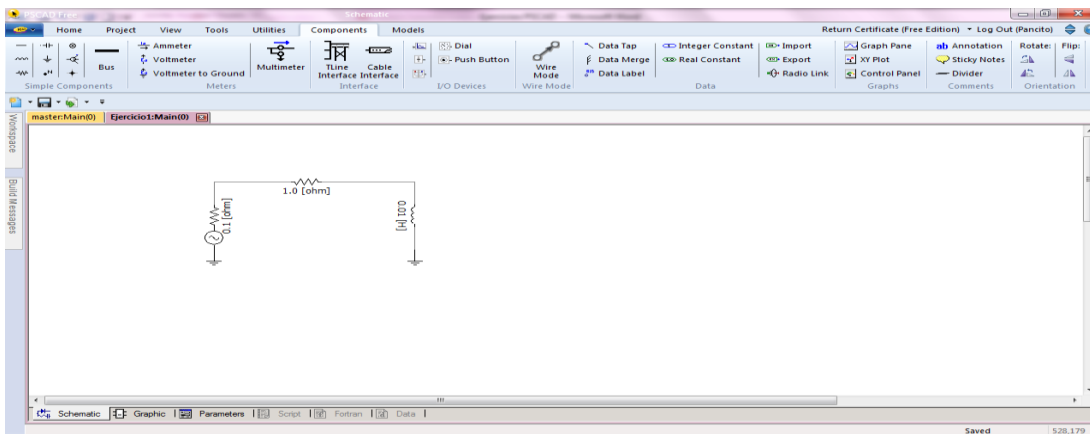
Una vez que se han situado y parametrizado todos los componentes del circuito en el área de trabajo del proyecto hay que proceder a conectarlos eléctricamente utilizando el elemento “wire” (cable, conexión...), el cual se puede encontrar en la Master Library o directamente en la Paleta de Elementos. Los elementos se unen usando el elemento “wire” o conectando directamente sus extremos. *Es muy importante que la longitud del elemento sea exactamente igual a la distancia que hay entre los elementos.* La longitud se puede variar haciendo “click” en los extremos. Para rotar simplemente se pulsa la tecla R o L, según sea el caso. (Figura 50)



**Figura 50.** Unión de Componentes usando Herramienta Wire. Fuente: PSCAD (2017)

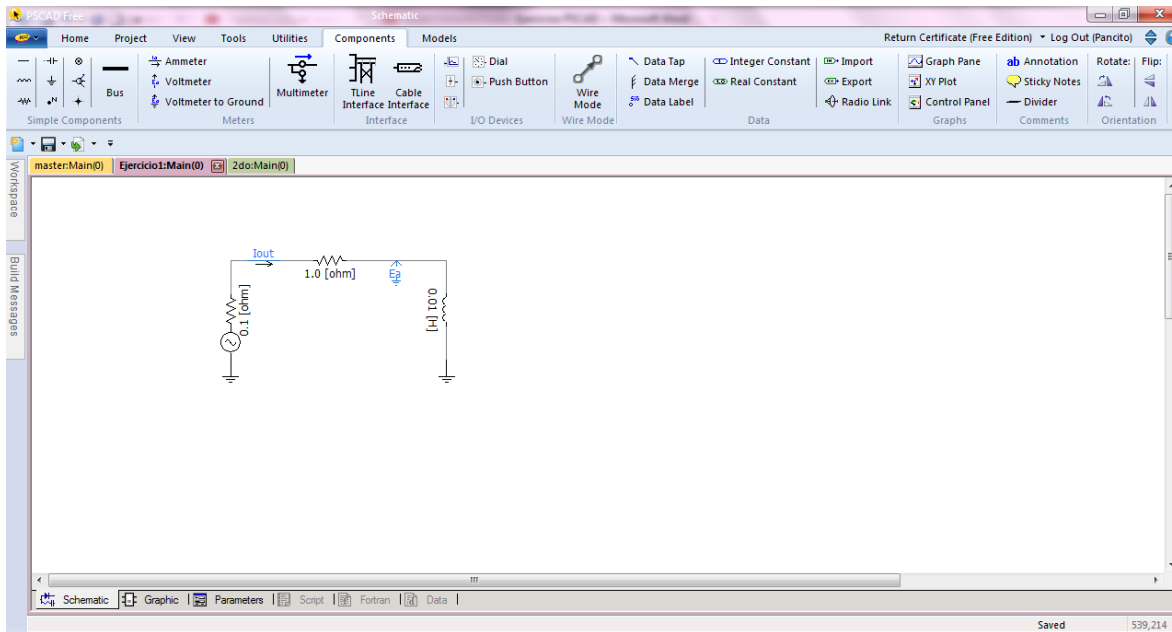
Para el software PSCAD es necesario que todo circuito eléctrico tenga un nudo de referencia o masa denominado GROUND y que se representa como 

Existen muchos elementos y componentes que ya tienen uno de sus extremos a este tipo de nudo. Se les denominan elementos aterrados. Para que el software funcione correctamente hay que cerrar el circuito eléctrico planteado en el Ejercicio1. Para ello se toma de la Barra de Componentes el elemento Ground y se une al extremo libre de la bobina, tal como se aprecia en la Figura 51.



**Figura 51.** Aterramiento del Sistema. Fuente: PSCAD (2017)

En cuanto a los medidores de las variables hay que colocar un voltímetro entre uno de los extremos de la bobina y la masa para poder medir y graficar la tensión en este elemento. Para ello se escogió un voltímetro a tierra existente en la Paleta de Elementos. Lo mismo se hará para poder medir la corriente del circuito escogiendo un amperímetro de la Paleta de Elementos y colocándolo antes de la resistencia. (Figura 52).



**Figura 52.** Colocación de Medidores. Fuente: PSCAD (2017)

Ya una vez representado completamente el circuito eléctrico en el área de trabajo y colocados los medidores de las variables a medir, hay que indicarle al PSCAD cuáles serán definitivamente las mediciones a representar. En Ejercicio1 hay solo dos variables representables, la tensión en la bobina “ $E_a$ ” y la intensidad de la fuente “ $I_{out}$ ”. Para poder situar las variables a representar gráficamente se escoge del Master Library o de la Paleta de Controles los elementos “Data Label” y “Output Channel”, uniéndolos mediante un elemento “wire”. Al primero se le pondrá el nombre de la variable a graficar haciendo “doble click” sobre él, y en el segundo elemento hay que señalar como se quiere representarla (título, unidades, factor de escala...), también haciendo “doble click”. Así se representaran las variables  $E_a$  e  $I_{out}$ , bajo los títulos de Tensión Bobina e Intensidad Circuito respectivamente. (Figuras 53 a la 56)



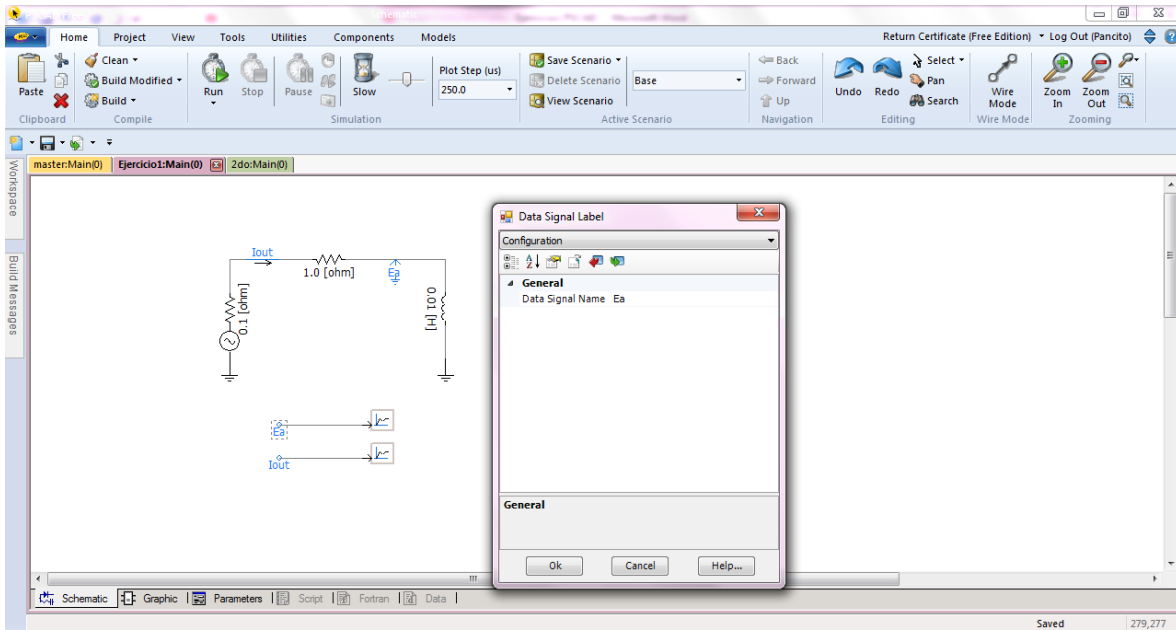


Figura 53. Asignación de Nombres de Variable Ea. Fuente: PSCAD (2017)

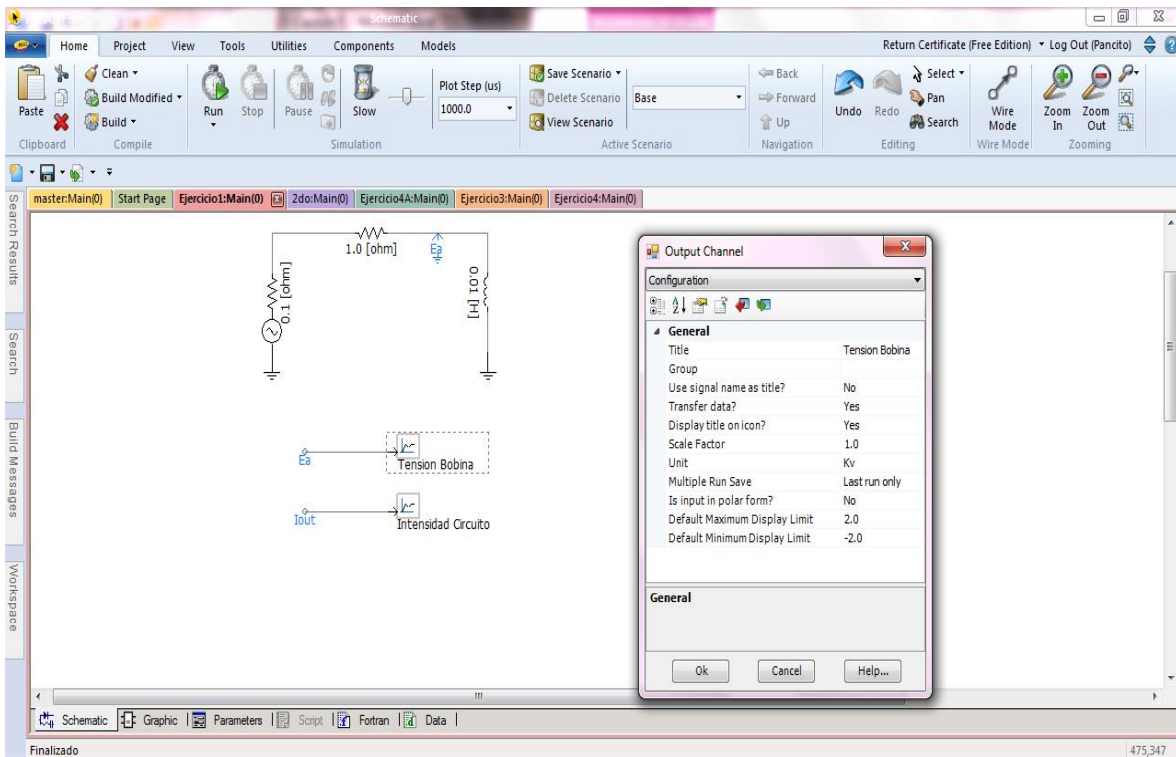


Figura 54. Asignación de Magnitudes de Variable Ea. Fuente: PSCAD (2017)

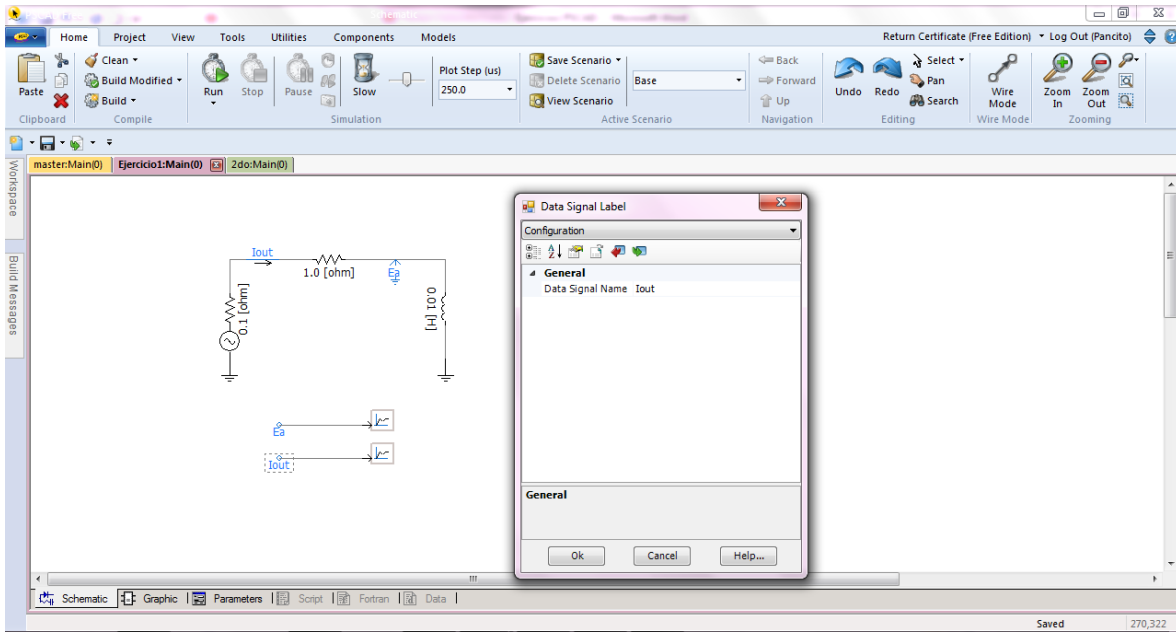


Figura 55. Asignación de Nombres de Variable Iout. Fuente: PSCAD (2017)

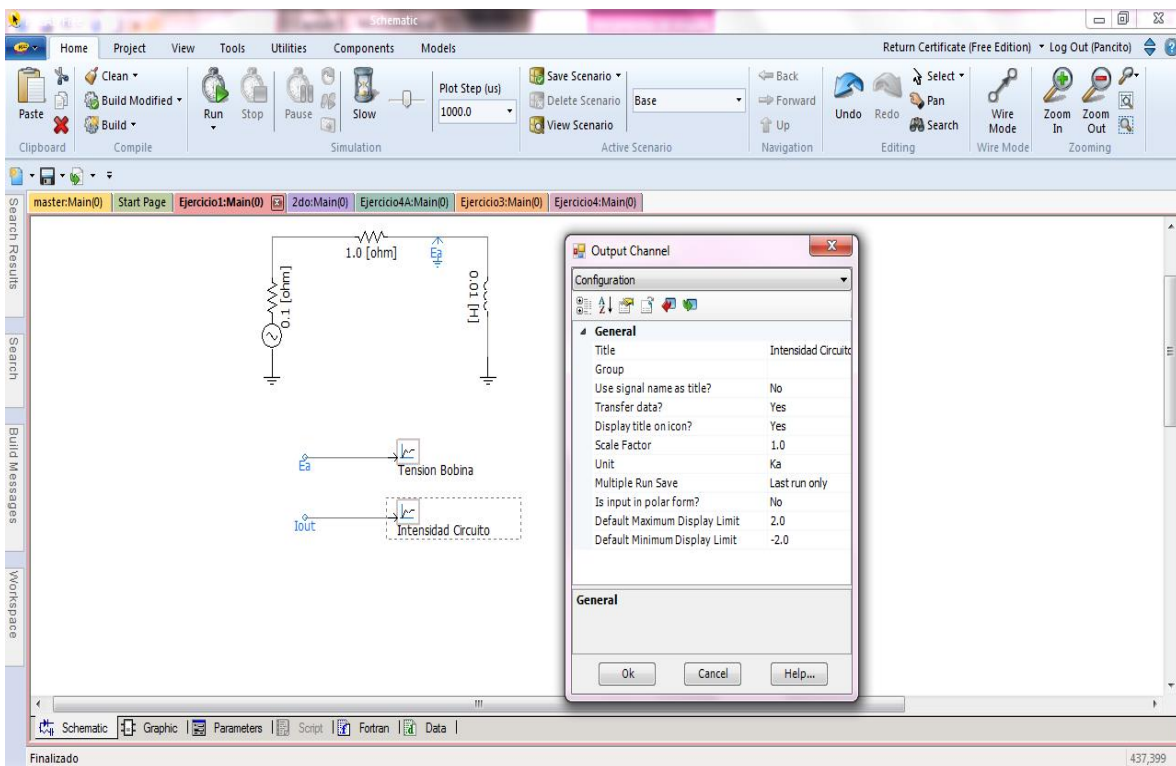


Figura 56. Asignación de Magnitudes de Variable Iout. Fuente: PSCAD (2017)

Se llega así al momento de preparar la ventana de representación gráfica. Para ello las variables  $E_a$  e  $I_{out}$  se graficarán, una vez realizada la simulación, en un gráfico “Graph Frame” que es necesario configurar. Primero se escogerá del Master Library o de la Paleta de Componentes el icono “Graph Frame” y se situará en el área de trabajo del proyecto. Aparecerá entonces un cuadro que se puede escalar haciendo “click” y arrastrando los pequeños cuadros verdes que lo rodean. También se puede hacer esta operación con un “click” sobre uno de los “Output Channel” y luego escoger del menú el ítem “Graphs/Meters/Controls” y luego “Add Overlay Graph with Signal” y entonces al hacer un “click” sobre el área de trabajo aparecerá el Cuadro de Representación Gráfica de la variable cuyo “Output Channel” se utilizó. (Figura 57)

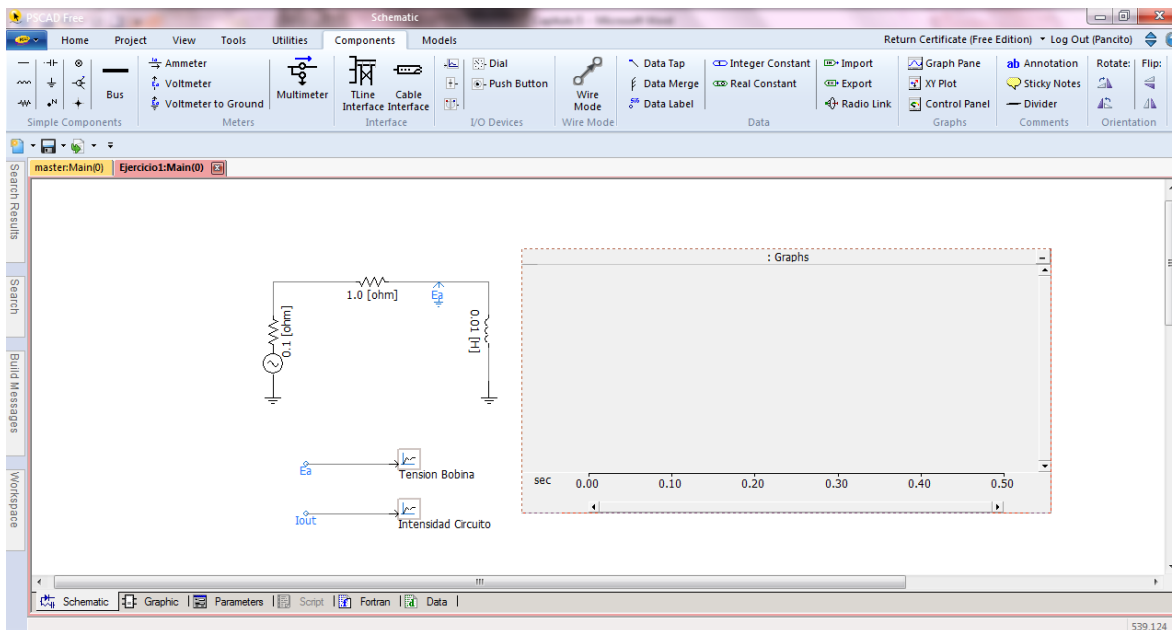
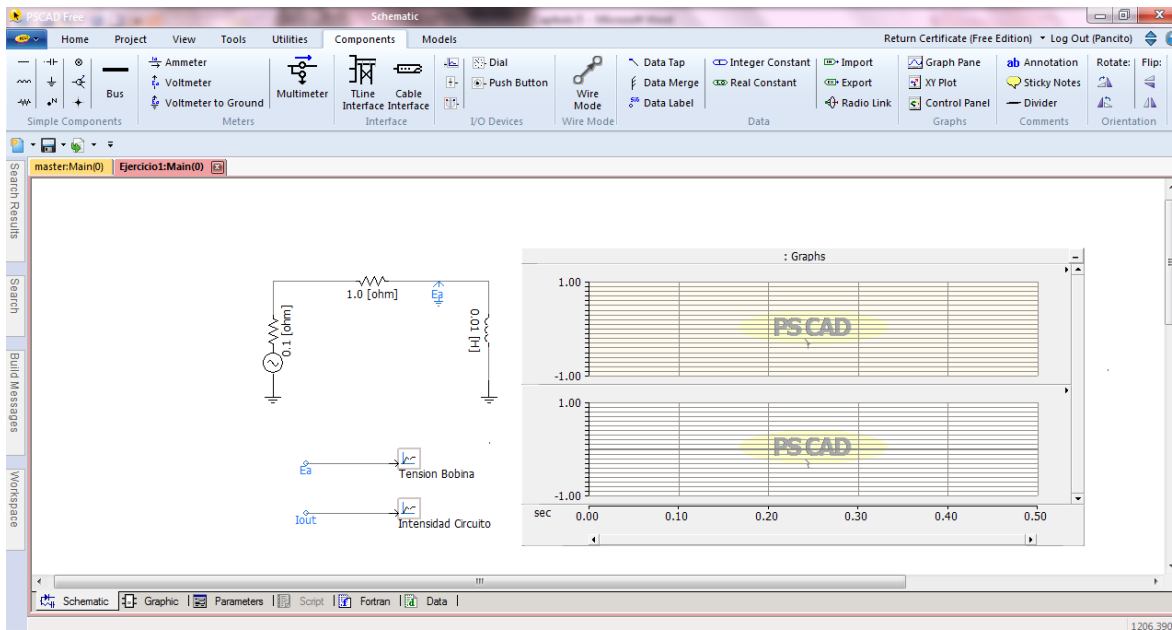


Figura 57. Apertura de Ventana de Graficación. Fuente: PSCAD (2017)

Luego, al hacer “click” con el botón de la derecha en la barra del título del cuadro recién creado aparecerá el menú de configuración, donde se deberá hacer “click” en “Add Analog Graph”, de forma que se añada una nueva gráfica de representación. Se pueden añadir tantas gráficas como veces se repita este proceso. Se correrá desde los puntos verdes de las esquinas hasta tener una perfecta visualización de los cuadros internos. (Figura 58)



**Figura 58.** Generación de Gráficas de cada Variable. Fuente: PSCAD (2017)

Para agregar o enviar las variables a representar a las gráficas recién creadas se hace “click” con el botón derecho sobre el “Output Channel” titulado “Tensión Bobina”, lo que hace que aparezca un menú donde se hará “click” sobre el ítem “Add as curve”. Luego se hace nuevamente “click” con el botón derecho sobre una de las gráficas y se selecciona finalmente “Paste Curve”. Para la otra curva de representación, se ha de repetir el procedimiento con el otro “Output Channel” titulado “Intensidad Circuito” obteniéndose las gráficas correspondientes. (Figuras 59 a la 61)

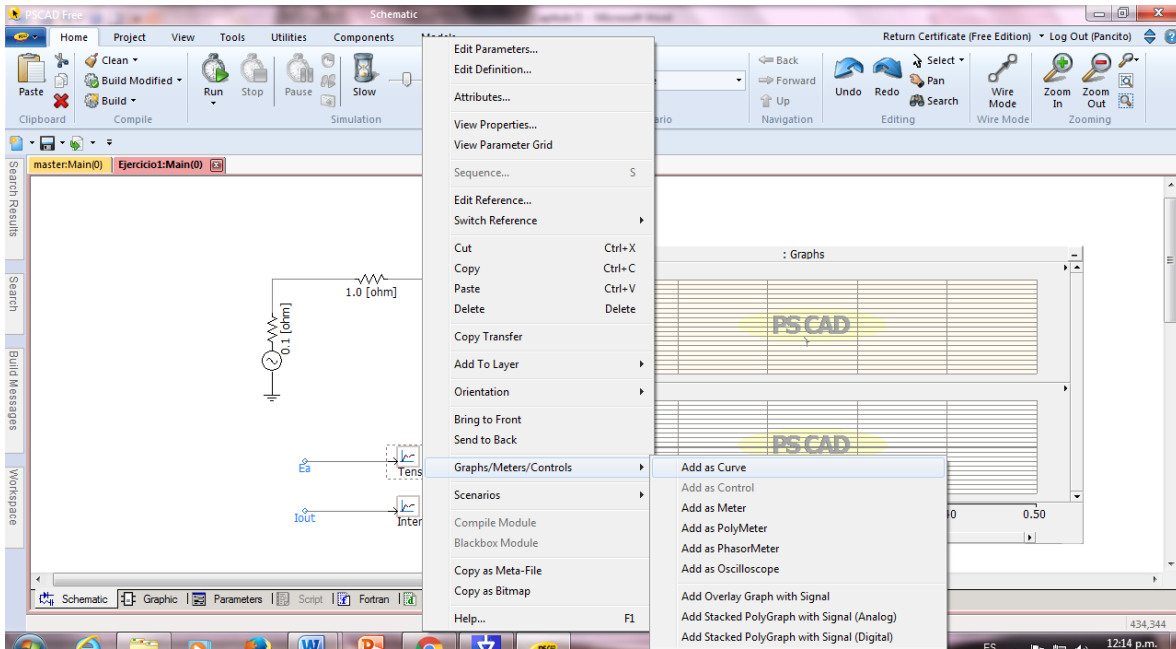


Figura 59. Generación de las Gráficas de cada Variable. Fuente: PSCAD (2017)

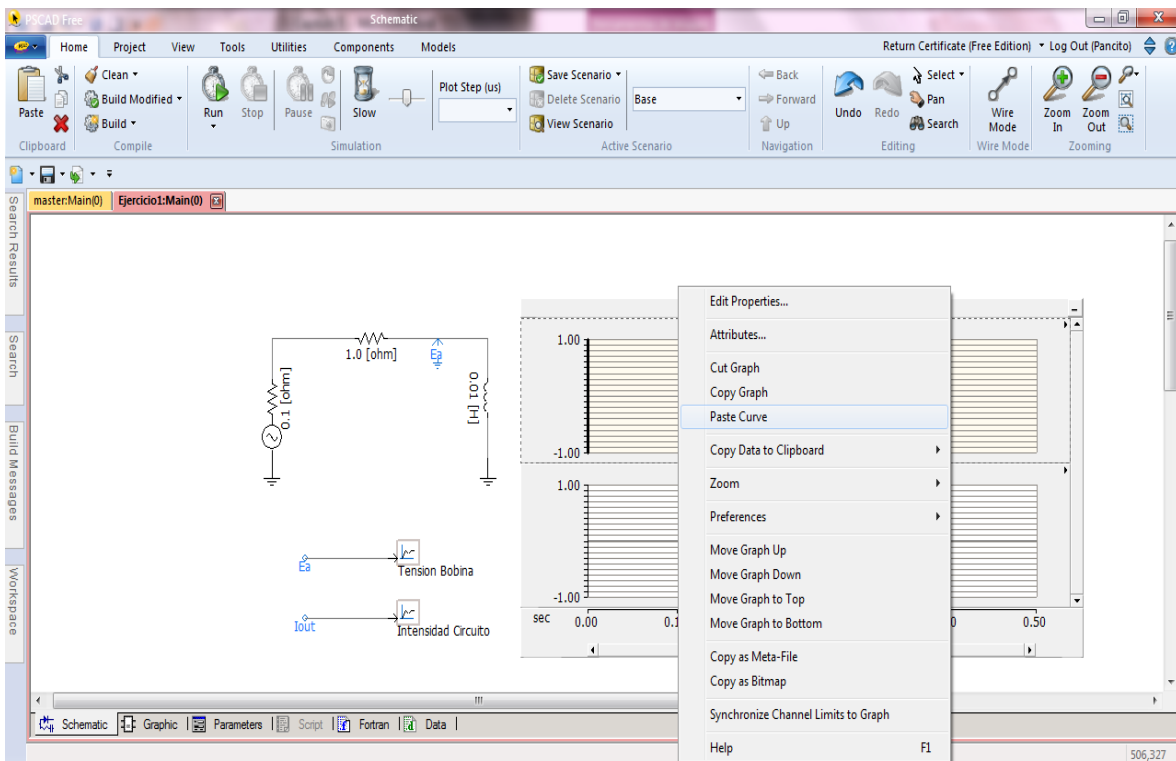
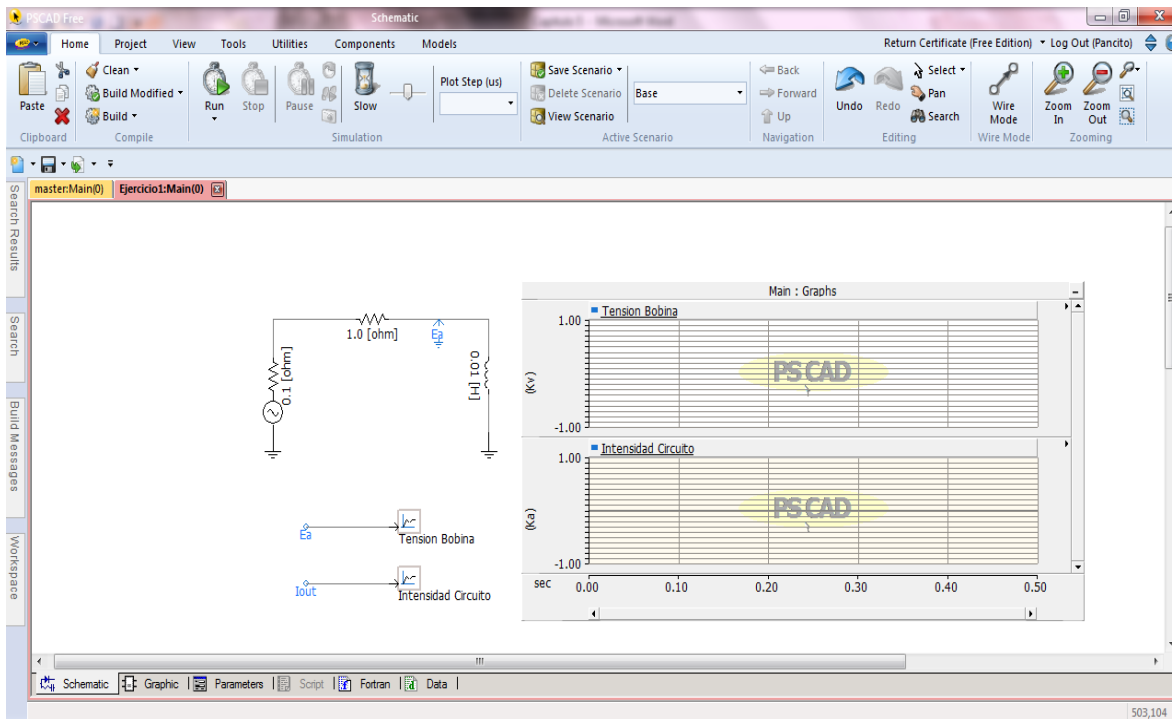


Figura 60. Generación de las Gráficas de cada Variable. Fuente: PSCAD (2017)



**Figura 61.** Generación de las Gráficas de cada Variable. Fuente: PSCAD (2017)

Llegados a este punto del Ejercicio1 hay que definir los parámetros necesarios para ejecutar la simulación. Como inicio del ejercicio de simulación, lo primero que se hará es ubicarse en el comando Área de Proyectos: Workspace y hacer un “click” con el botón derecho del ratón sobre el nombre del proyecto, en este caso Ejercicio1, y escoger la opción Project Settings, donde aparecerán los parámetros más relevantes, ver Figuras 62 – 63, que son:

File: se coloca el nombre del proyecto a simular: Ejercicio1

Description: descripción del proyecto.

Duration of run (sec): tiempo de simulación para el circuito, 0.5 sec.

EMTDC time step (uS): tiempo entre 2 valores consecutivos a simular, 1000 us.

PSCAD plot step (uS): tiempo que entre dos valores consecutivos en las gráficas, siempre igual o mayor que el valor anterior, 1000 us.

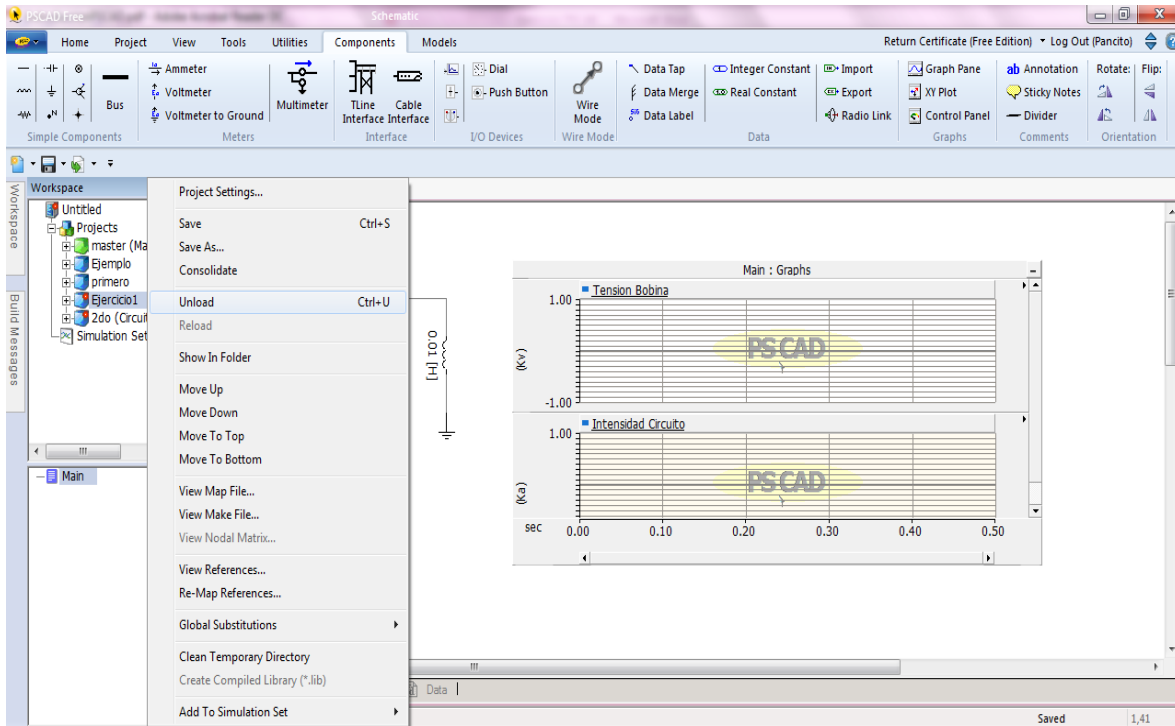


Figura 62. Parametrización de Gráficas de cada Variable. Fuente: PSCAD (2017)

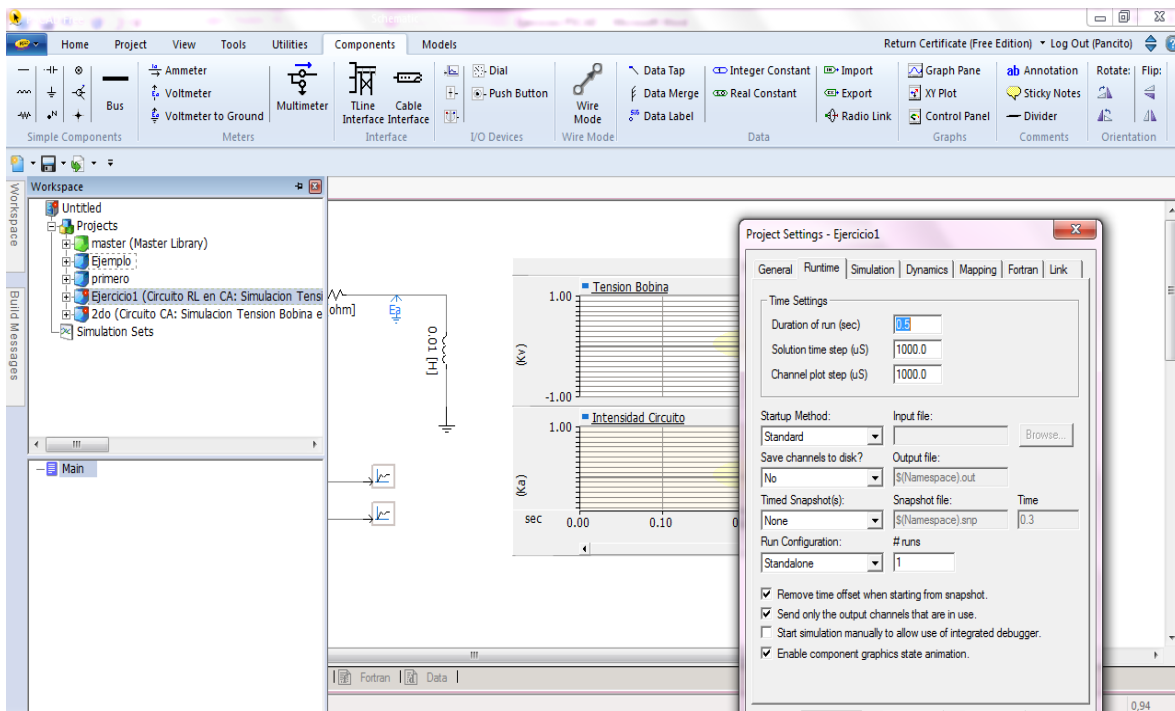


Figura 63. Comienzo del Proceso de Simulación. Fuente: PSCAD (2017)

Ya una vez configurados todos los parámetros del procedimiento de simulación, se pulsa el botón que da inicio a la simulación, “RUN”, situado en la Barra de Herramientas. Al instante el programa de simulación PSCAD comenzara a compilar el proyecto, quedando esta operación evidenciada por el movimiento de unos engranajes en la parte inferior derecha de la ventana, ver Figuras 64 – 65.

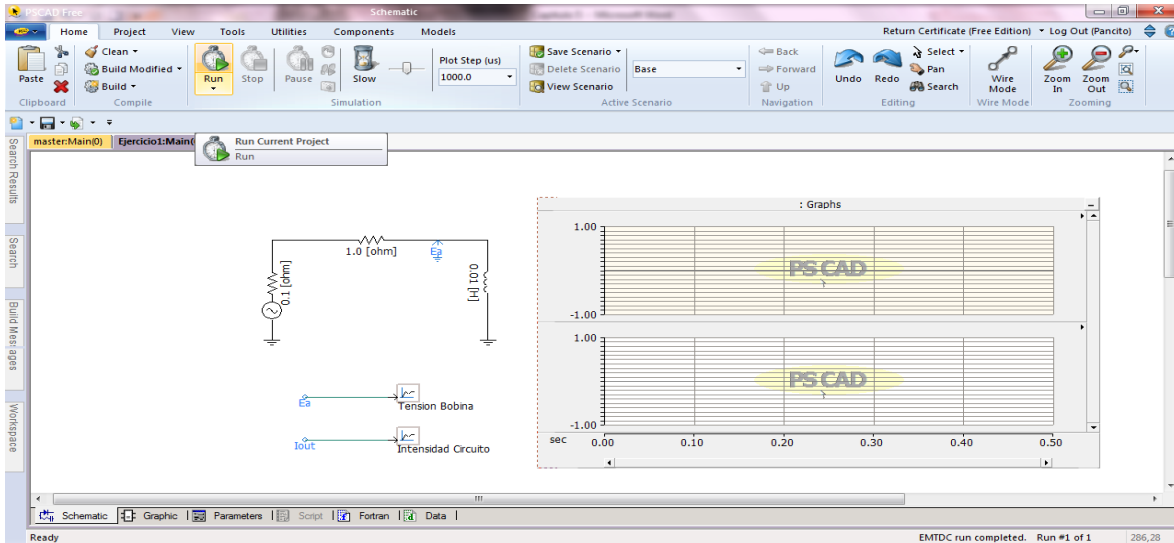


Figura 64. Pulsado del Comando Run. Fuente: PSCAD (2017).

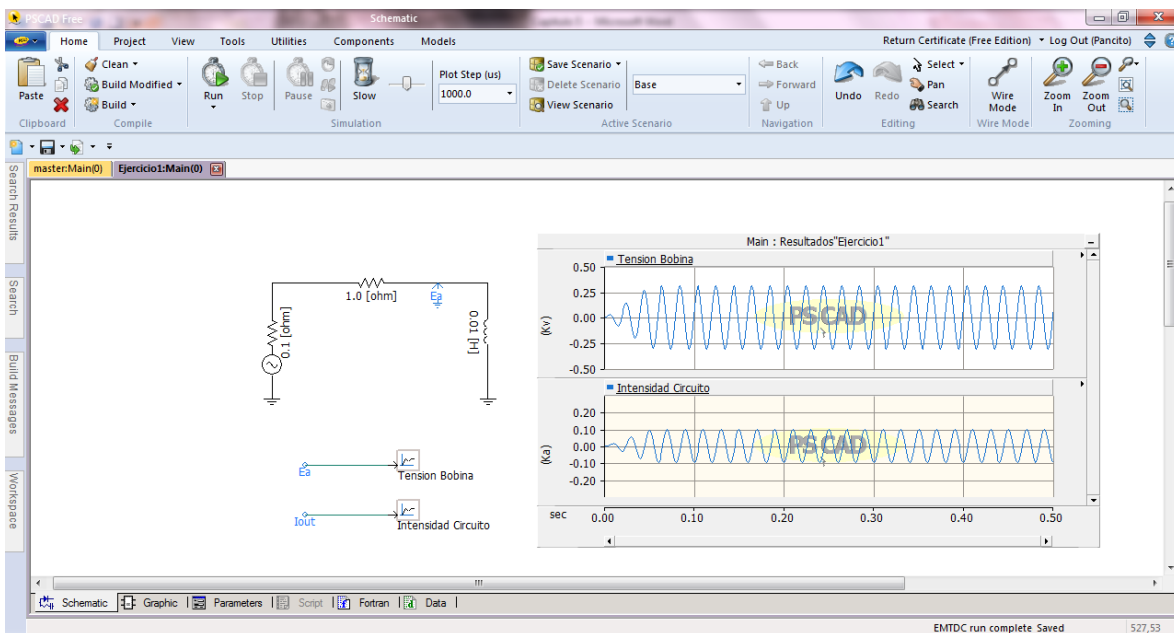
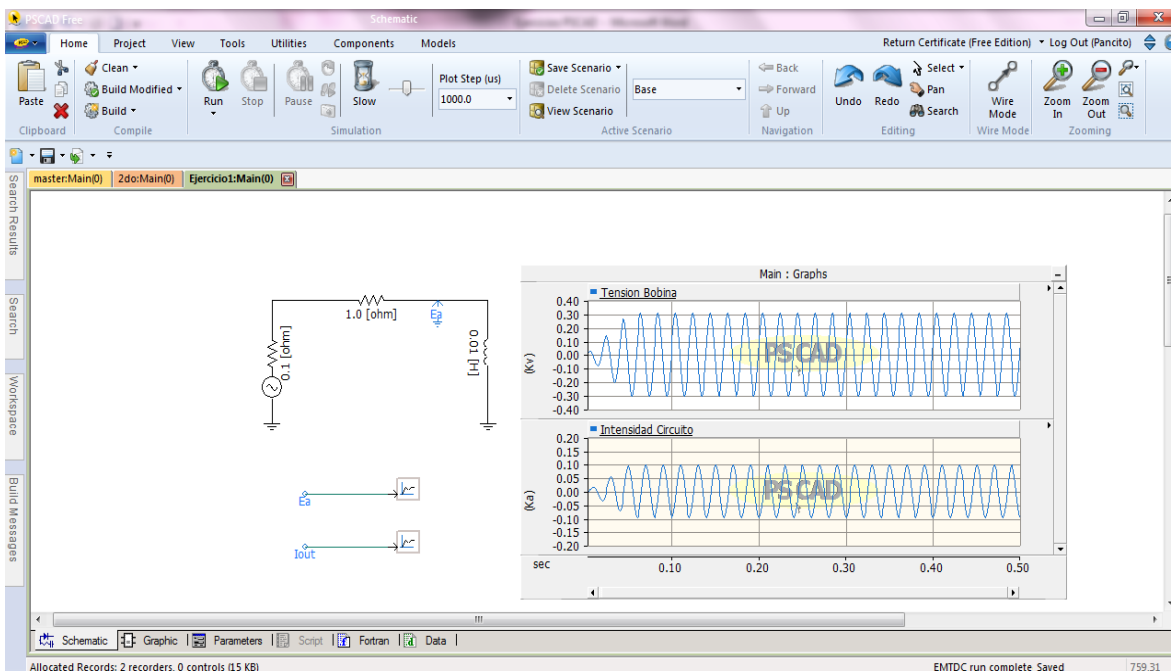


Figura 65. Aparición de las Gráficas de las Variables. Fuente: PSCAD (2017).



Adicionalmente hay que tomar en cuenta la posibilidad de que puede darse el caso de errores durante el proceso de simulación. Si una vez iniciada la misma no hay ningún resultado o aparece un mensaje de error, hay que ir a la Ventana de Salida en la solapa “Build Messages” y ver cuáles son los errores del circuito que se reconocerán fácilmente porque aparecerán en color rojo. De haber uno o varios errores se hará un “doble click” sobre cada error lo que hará que se muestre en que parte del esquema eléctrico se encuentran él o los errores, marcándolos cada uno con una flecha también de color rojo. Una vez que se han solucionado todas las discrepancias se procederá nuevamente a darle al comando “RUN” para realizar una nueva simulación.

Después de finalizada la simulación pueden observarse claramente los resultados del proyecto bajo estudio, en las gráficas creadas según el procedimiento ya descrito. Si se requiere cambiar la presentación de las gráficas simplemente basta con hacer “click” con el botón derecho del ratón sobre la misma. En el menú que aparece se podrá ajustar el “Zoom”, y con el comando “Graph Properties” se le podrá agregar un título, un nombre para los ejes, etc. Algunas de esas posibilidades se muestran a continuación en las figuras 66 a la 70.



**Figura 66.** Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas. Fuente: PSCAD (2017)

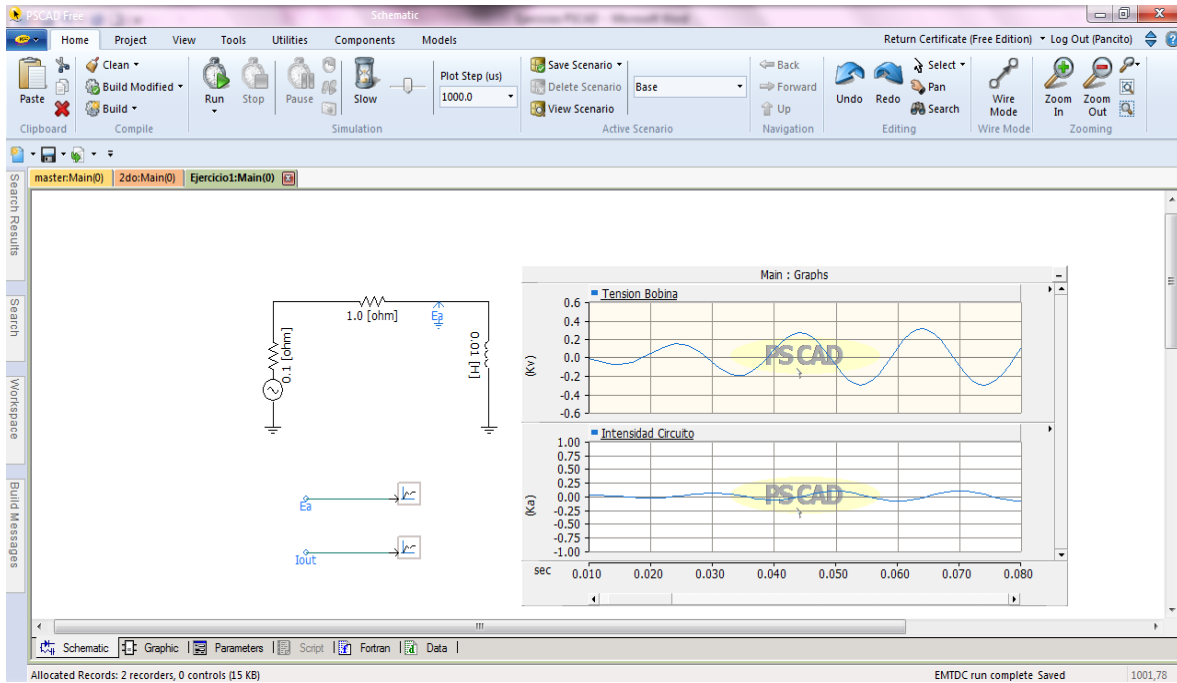


Figura 67. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas. Fuente: PSCAD (2017)

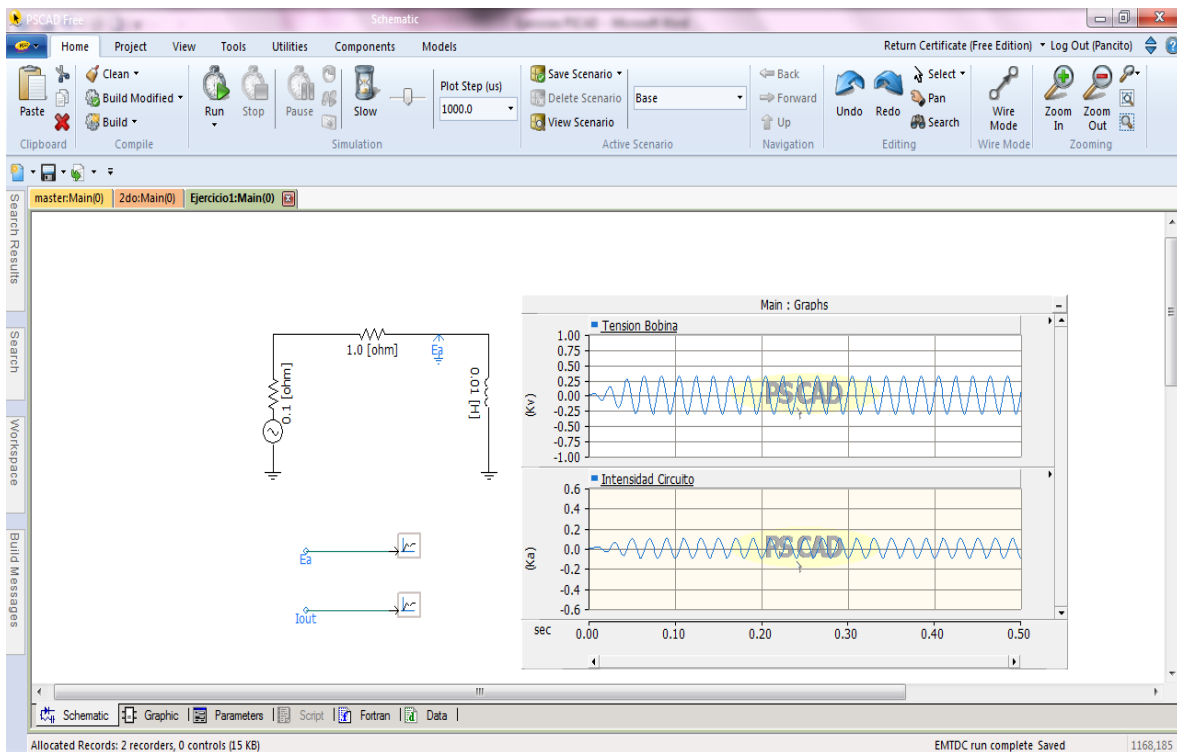


Figura 68. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas. Fuente: PSCAD (2017)

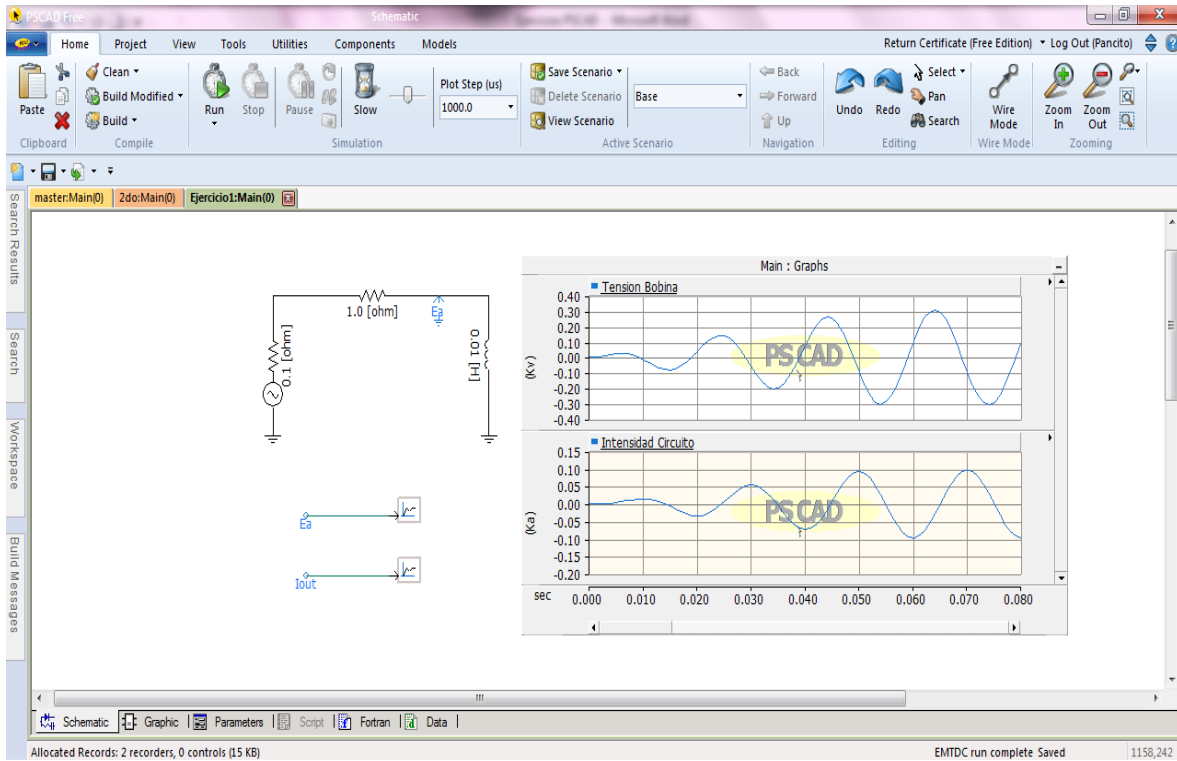


Figura 69. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas. Fuente: PSCAD (2017).

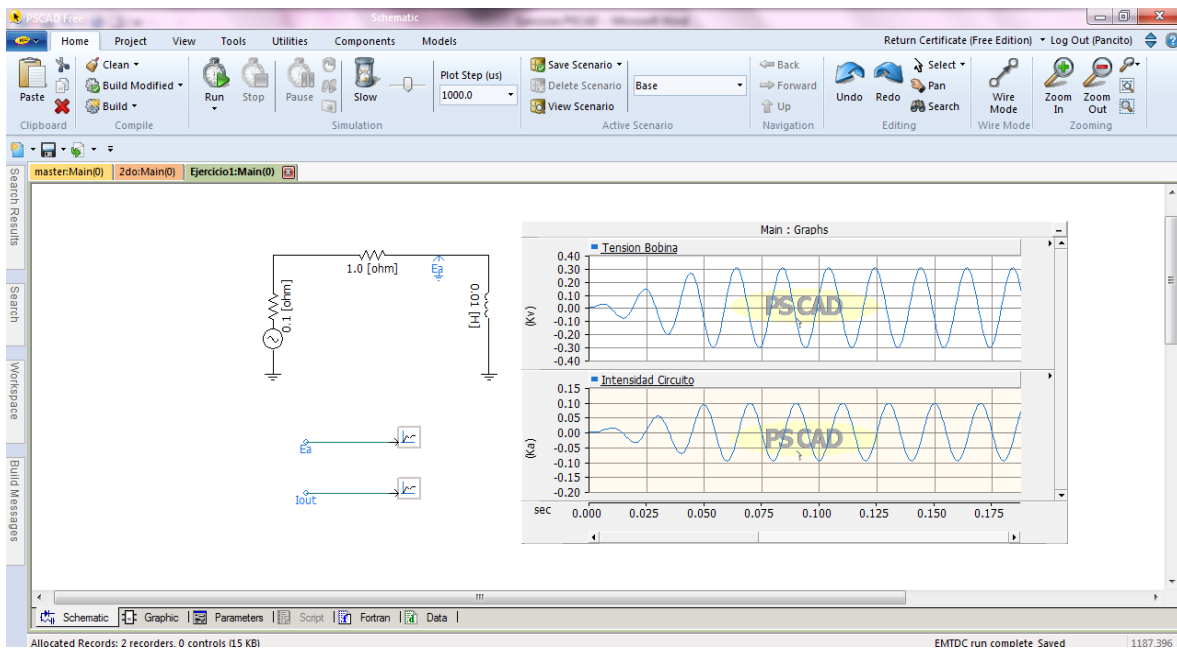


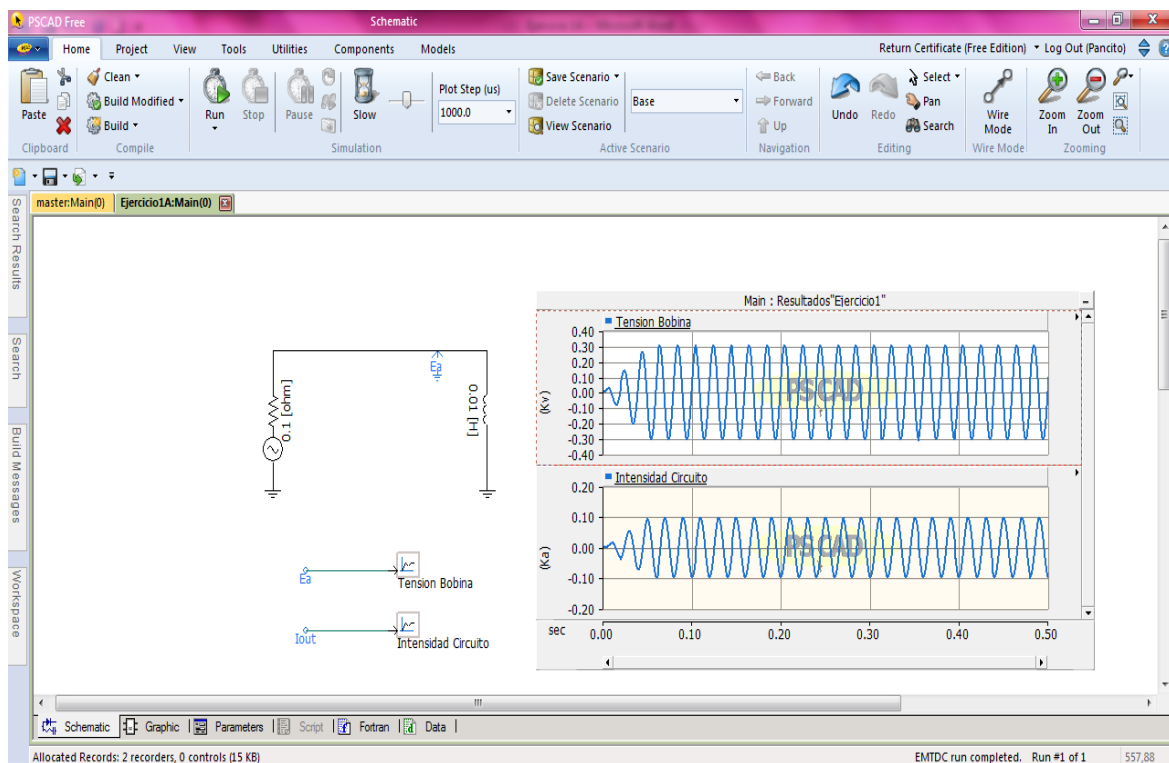
Figura 70. Modificación de Escalas para Visualización de Gráficas. Fuente: PSCAD (2017).

Para comprobar aún más las potencialidades del software de simulación PSCAD, como paso siguiente, se procederá a incorporar varias alternativas diferentes en el circuito a fin de ver cómo estas modifican las gráficas del mismo. Lo primero a realizar será quitar carga, bien

sea la resistencia R o la bobina L y luego, como segunda opción, también se podría incorporar un interruptor al circuito.

### 5.1.1. Ejercicio 1A. Quitar una carga.

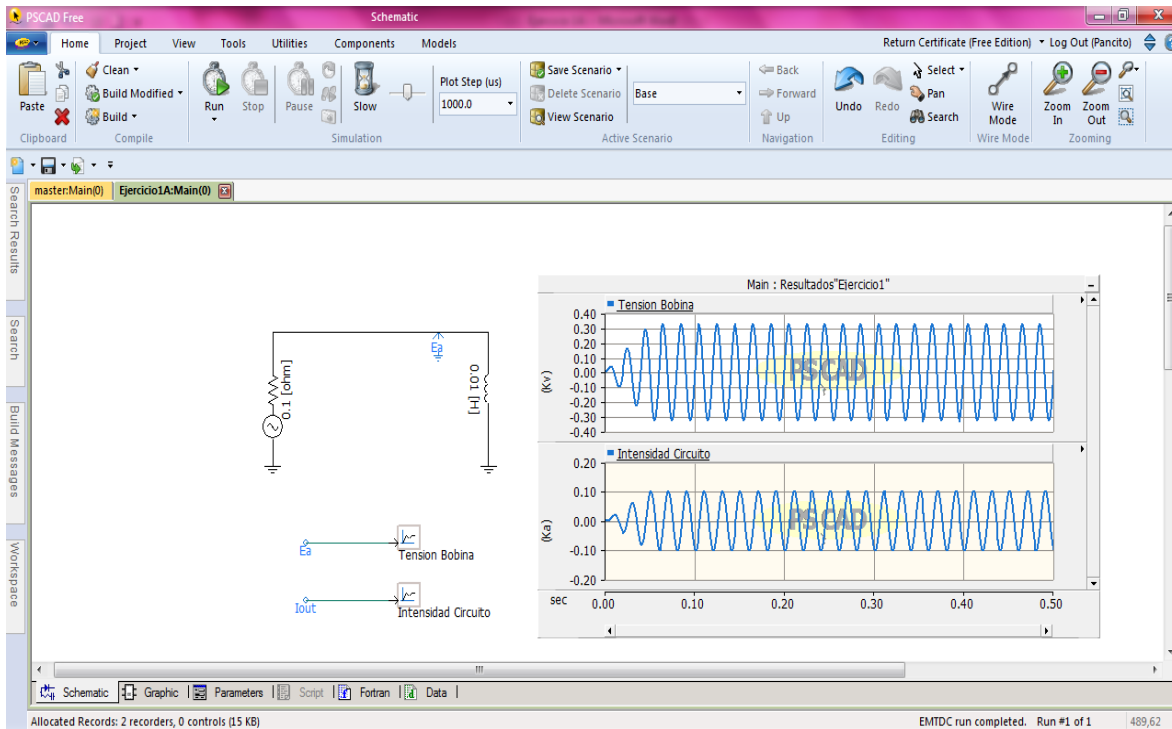
Para eliminar del circuito la resistencia R se comienza por hacer “click” sobre ella con el botón derecho y luego pulsar “delete” del menú que se mostrara. Como ha de quedar un espacio abierto donde estaba la resistencia R se debe estirar con ayuda de la herramienta “wire mode” una de las puntas de los dos cables que rodeaban la resistencia hasta cerrar nuevamente el circuito. Quedaría como se muestra a continuación:



**Figura 71.** Circuito Eléctrico sin la Resistencia R. Fuente: PSCAD (2017).

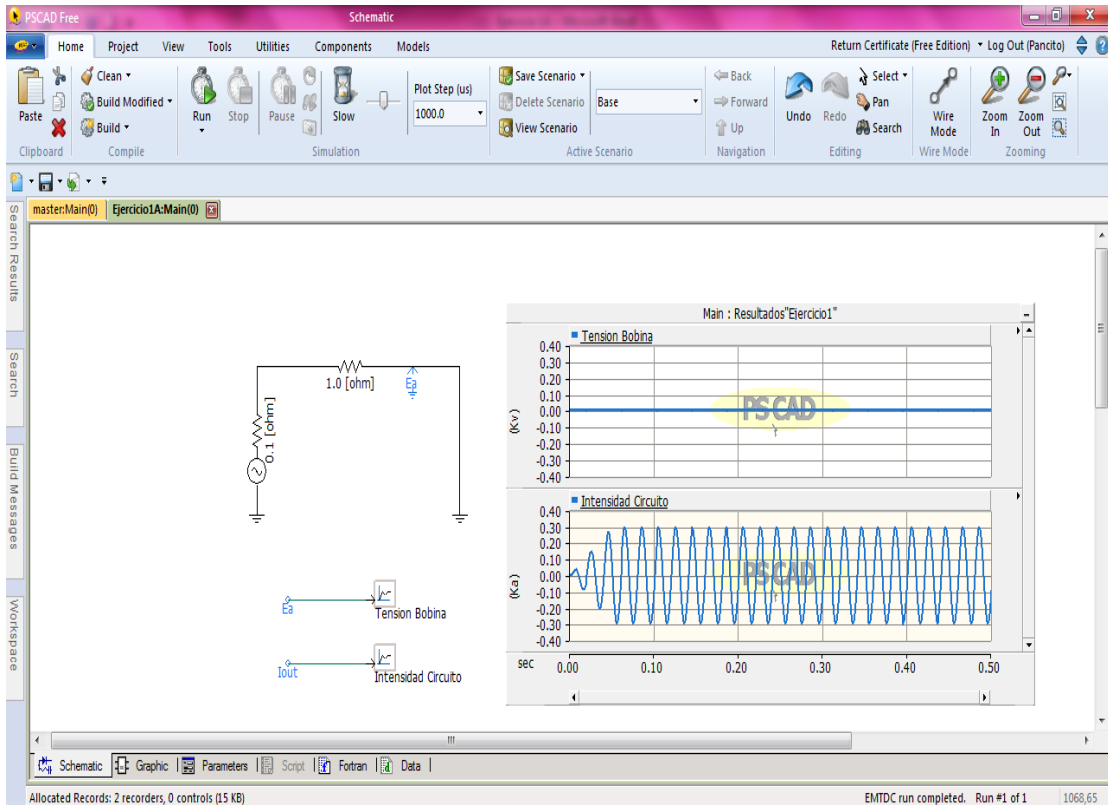
Hecho lo anterior se procede a pulsar nuevamente RUN en la parte superior de la Barra de Trabajo para realizar una nueva simulación. No hace falta modificar más nada pues no se agregaron nuevos elementos al circuito. Durante el desarrollo del proceso de la nueva

simulación las gráficas anteriores desaparecen siendo sustituidas inmediatamente por nuevas graficas producto del último proceso de simulación. Ya una vez realizada la nueva simulación el resultado de la gráfica será el siguiente:



**Figura 72.** Simulación de Circuito sin Resistencia R. Fuente: PSCAD (2017).

Como se ve prácticamente no hay variación pues lo único que se hizo fue eliminar la resistencia al paso de la corriente por el circuito eléctrico. Ahora ¿que pasaría si se elimina la otra carga del circuito, es decir, la bobina del circuito y se deja la resistencia? El resultado será el mostrado a continuación:



**Figura 73.** Simulación de Circuito Eléctrico sin Bobina L. Fuente: PSCAD (2017).

### 5.1.2. Ejemplo 1B. Añadir un Interruptor.

Para agregar un interruptor al circuito se va directamente a la Librería de la Master Main y se selecciona el modelo de “breaker” requerido del módulo Breakers and Faults. En este caso se ha seleccionado un interruptor monofásico que al ser un elemento nuevo en el circuito se le tendrán que incorporar sus características técnicas. El circuito, ya incluido el “breaker”, quedara de la siguiente manera:

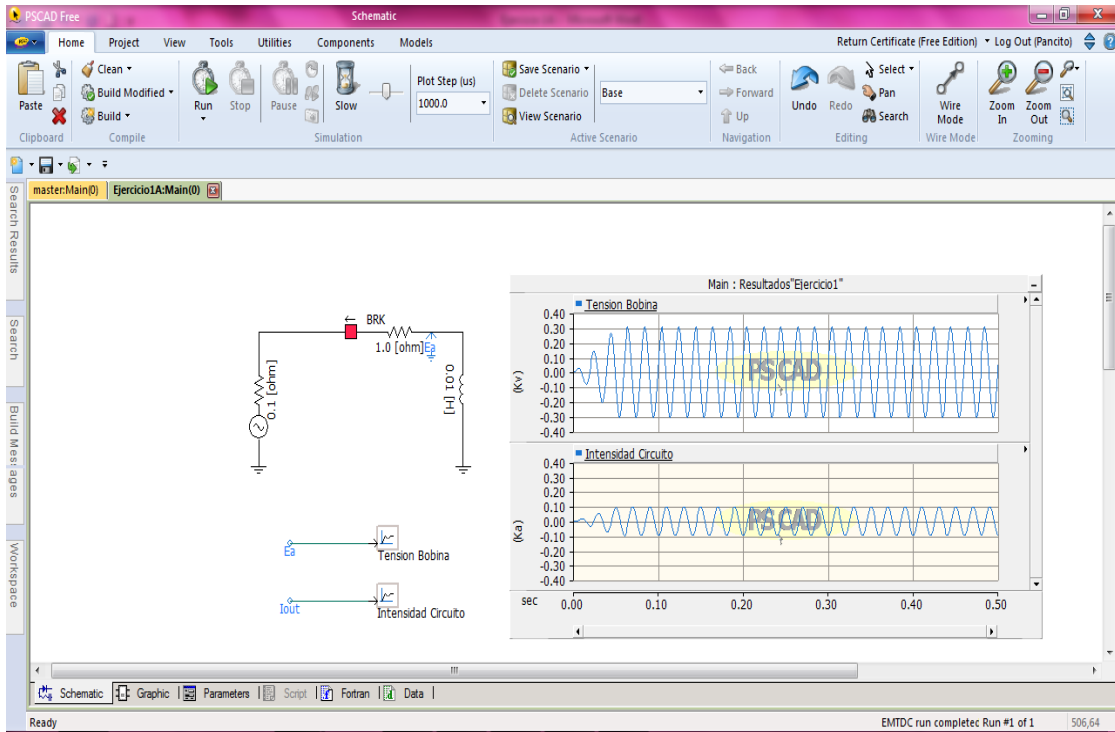
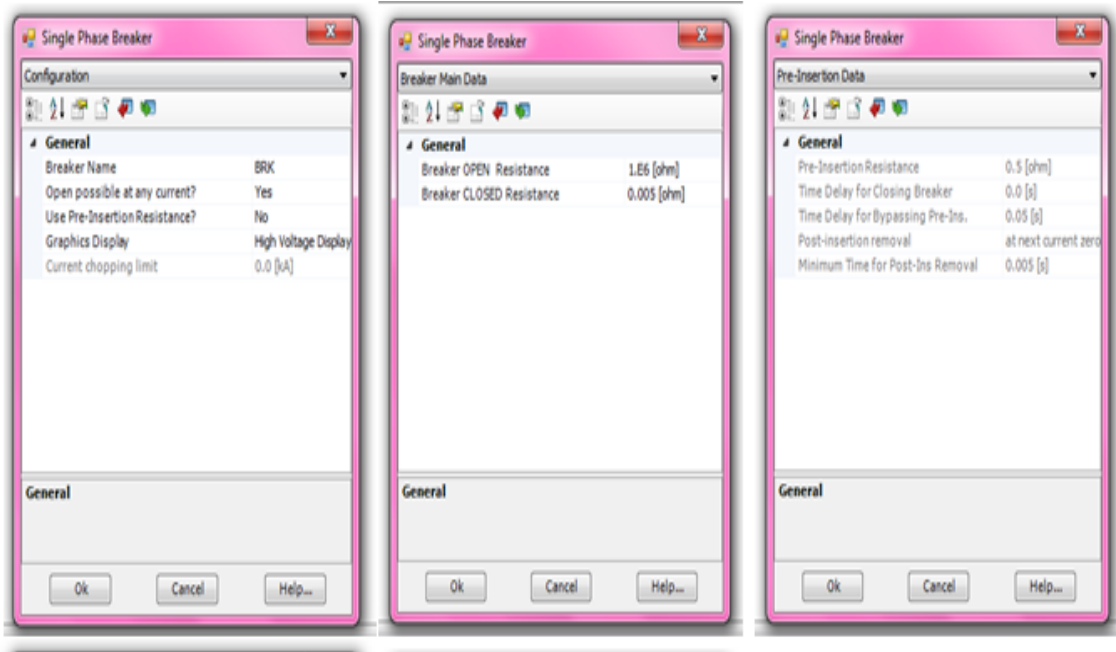


Figura 74. Circuito Eléctrico con Breaker Cerrado. Fuente: PSCAD (2017).

Las características técnicas del interruptor serán:



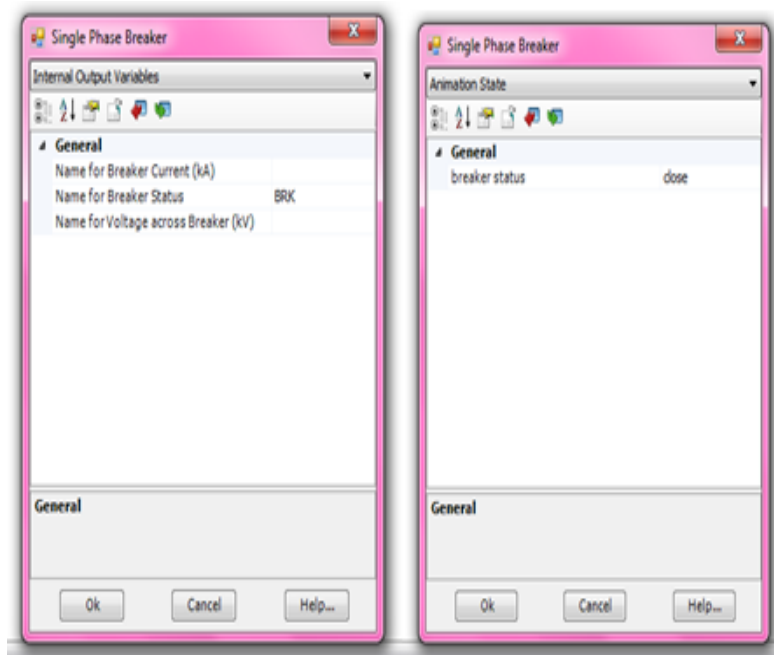


Figura 75. Datos Técnicos del Elemento Breaker. Fuente: PSCAD (2017).

Una vez incluidas las características técnicas del interruptor se procede a la nueva simulación haciendo “click” en el botón RUN en la parte superior de la barra de trabajo, obteniendo la siguiente gráfica:

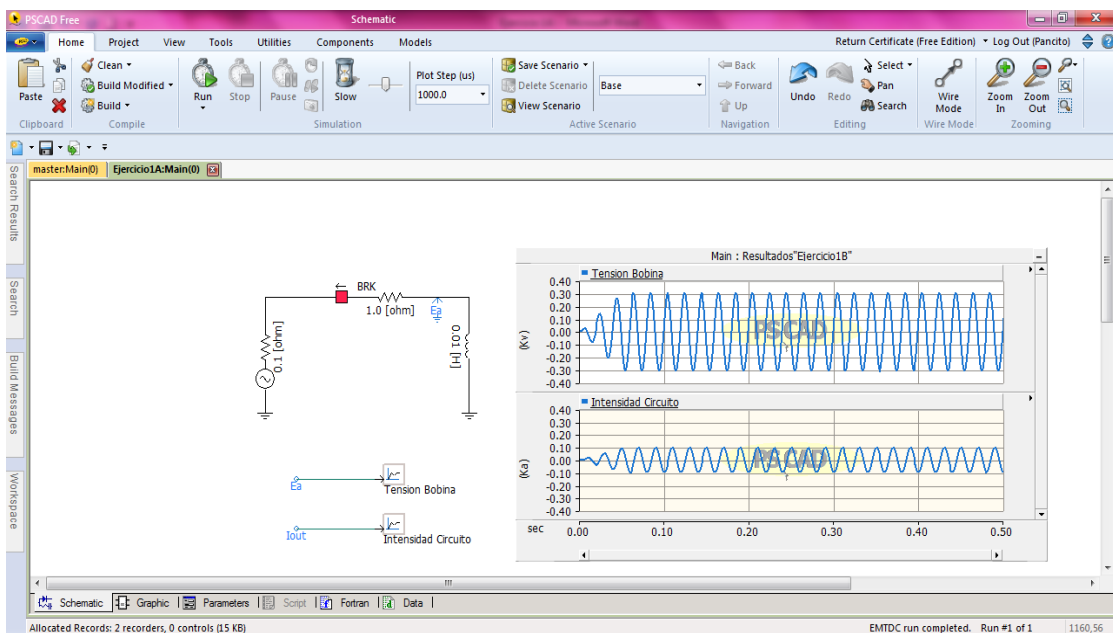
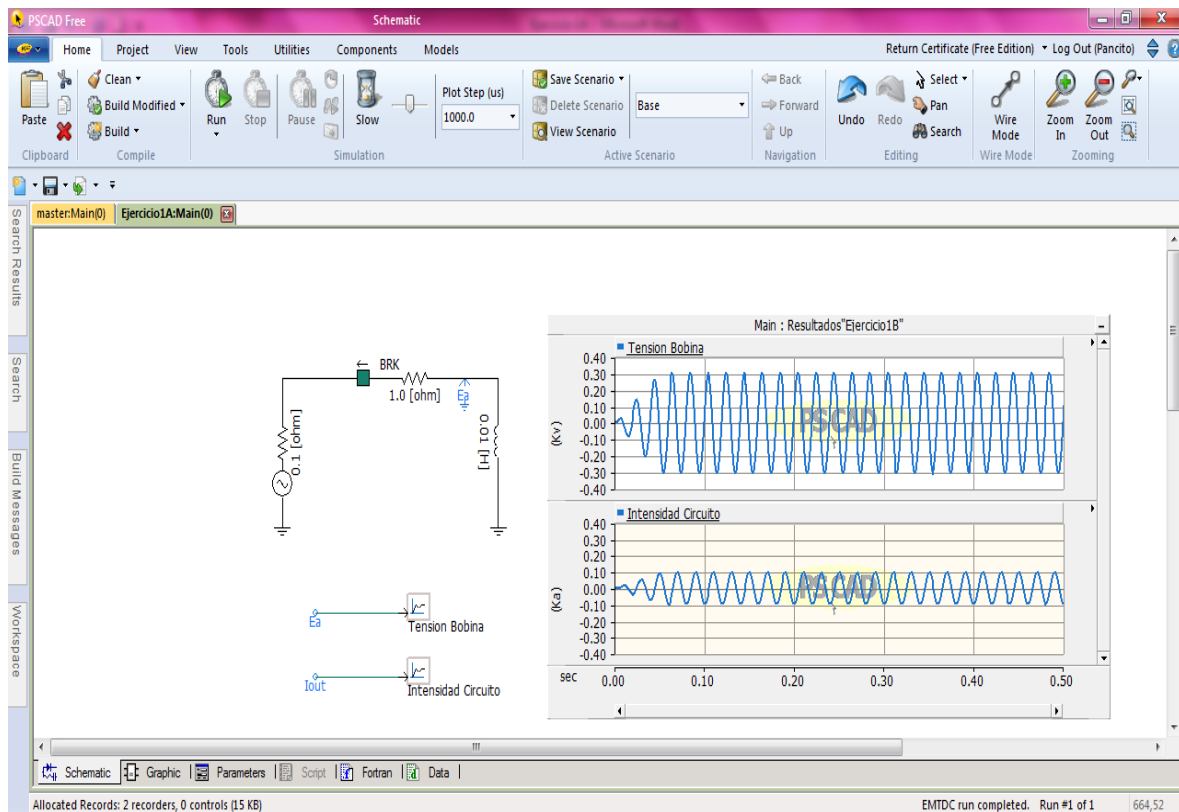


Figura 76. Simulación del Circuito con Breaker Cerrado. Fuente: PSCAD (2017).

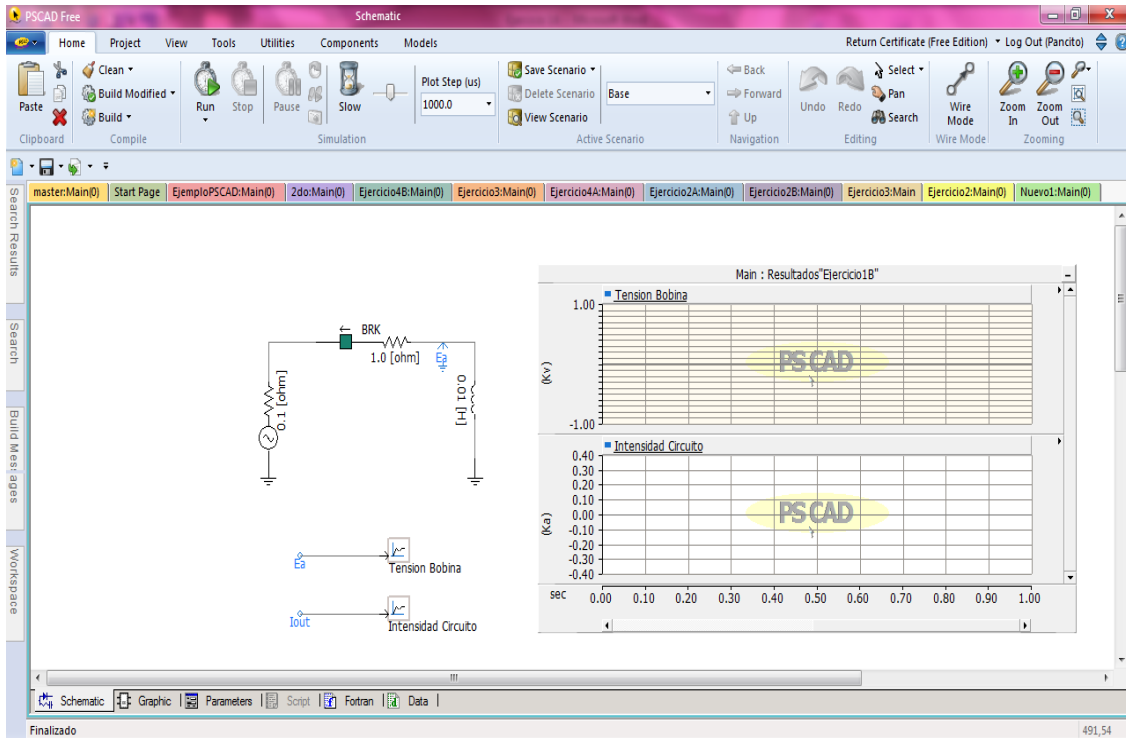


El resultado es similar a las gráficas anteriores, pues el “*breaker*” lo que está haciendo es el papel de los cables. Ahora se procede a abrir el interruptor y ver qué pasa. A continuación se presenta como queda el circuito eléctrico bajo esta última condición. Nótese el color verde del interruptor que indica su posición abierta en contraposición al color rojo que indicaba que el interruptor estaba cerrado.



**Figura 77.** Circuito Eléctrico con Breaker Abierto. Fuente: PSCAD (2017).

Por supuesto hay que modificar los datos técnicos del interruptor a la condición de maniobra de apertura y luego proceder a pulsar el botón RUN. Al estar el circuito abierto no hay lectura de tensión en la bobina ni circula corriente por el circuito. El resultado de la simulación es el siguiente:



**Figura 78.** Simulación de Circuito con Breaker Abierto. Fuente: PSCAD (2017).

## 5.2. Ejercicio 2

Obtener la respuesta transitoria y en régimen permanente del circuito de Corriente Continua, CC, tipo RC mostrado en la Figura 79. Se pide, utilizando el PSCAD, graficar el voltaje en los componentes y la corriente del circuito. Los parámetros del circuito serán los siguientes:

Fuente de tensión: 12 voltios

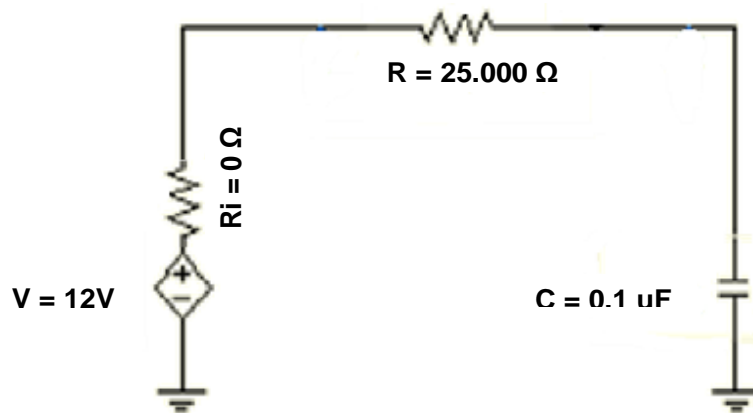
Resistencia interna:  $R_i = 0 \Omega$

Resistencia:  $R = 25.000 \Omega$

Condensador:  $C = 0,1\mu\text{F}$

Frecuencia: 60 Hz

Sistema sólidamente Aterrado



**Figura 79.** Circuito DC tipo RC de Ejercicio2. Fuente: PSCAD (2017)

Nuevamente lo primero será crear el nuevo proyecto. Se realizarán los pasos contemplados en las figuras 30 a la 36, para crearlo y grabarlo, en este caso con el nombre de “Ejercicio2”. Una vez realizado todo lo anterior aparecerá el nombre del proyecto debajo del icono master (Master Library) en la solapa “Workspace”. Se abrirá el área de trabajo del PSCAD con el nombre del proyecto y ya se podrá comenzar a desarrollar su simulación. Se comenzará por pulsar dos veces el botón izquierdo del ratón en el módulo Sources de la Master Library a fin de buscar el modelo requerido de la fuente DC. De los tipos de fuentes de voltaje configurables en DC o AC se escoge el ítem Single Phase Voltage Source Model 2, se copia (Copy) del módulo y luego se pega (Paste) en el área de trabajo de “Ejercicio2”. Una vez hecho esto se configura la fuente haciendo “doble click” sobre ella con el botón izquierdo. Los parámetros a utilizar serán los siguientes:

### **Configuration**

Source Name: Fuente1

Source Impedance: Ideal ( $R_i = 0 \Omega$ )

Is this source grounded? Yes

Specified Parameters: Behind the Source

Input Method: Internal

Source Type: DC

### Sygnal Parameters

Magnitud: 0.012 Kv

Ramp up time: 0.0 sec

### Monitoring

Name for source current: Ic

Ahora se procede a colocar el resto de los elementos del circuito eléctrico en el área de trabajo. Se utilizara entonces el botón izquierdo del ratón sobre la Barra de Componentes para seleccionar la resistencia, el condensador y el elemento tierra, que se colocara debajo del condensador para poder cerrar eléctricamente el circuito. Estos elementos irán conectados a la fuente de tensión, según el esquema del problema, hasta formar completamente el circuito, usando un cable de conexión (Wire), el cual se puede mover libremente colocando el cursor en cualquier punto distinto de los extremos.

Para adaptar la longitud y la orientación de los cables de conexión basta con seleccionar los extremos de los mismos. Armado ya el circuito en el área de trabajo del proyecto “Ejercicio2”, se procede a la asignación de los valores de los componentes haciendo “doble click” sobre cada uno de los elementos a parametrizar. Posteriormente, usando la herramienta “Sticky” se identifican todos los elementos restantes del circuito.

Resistencia:  $R = 25.000 \Omega$

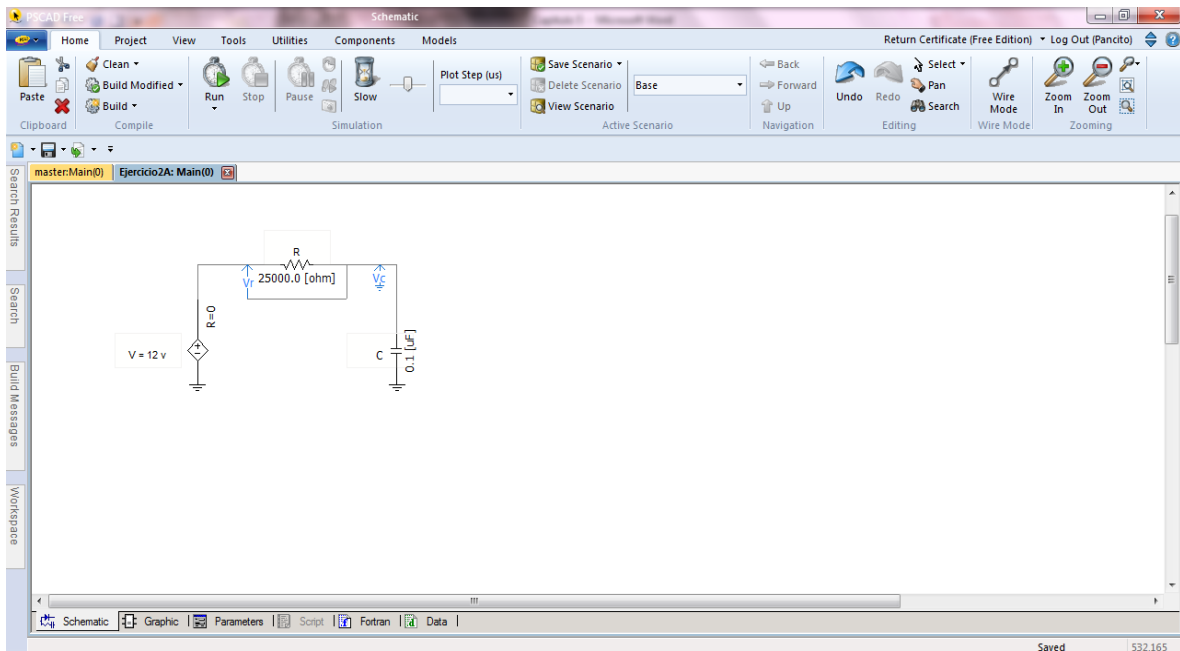
Condensador:  $C = 0.1\mu\text{F}$

Seguidamente se deberan colocar e identificar los instrumentos de medicion, ( $E_c$ ,  $E_r$ ), cuyos diagramas se toman de la Barra de Componentes. La medición del voltaje en los extremos de la resistencia se hará a través de un voltímetro diferencial por lo que para su colocación en el circuito se deberá completar la conexión eléctrica usando el elemento “Wire”. (Figura 80). Los medidores serán:

Voltímetro en el Condensador respecto a tierra:  $V_c$

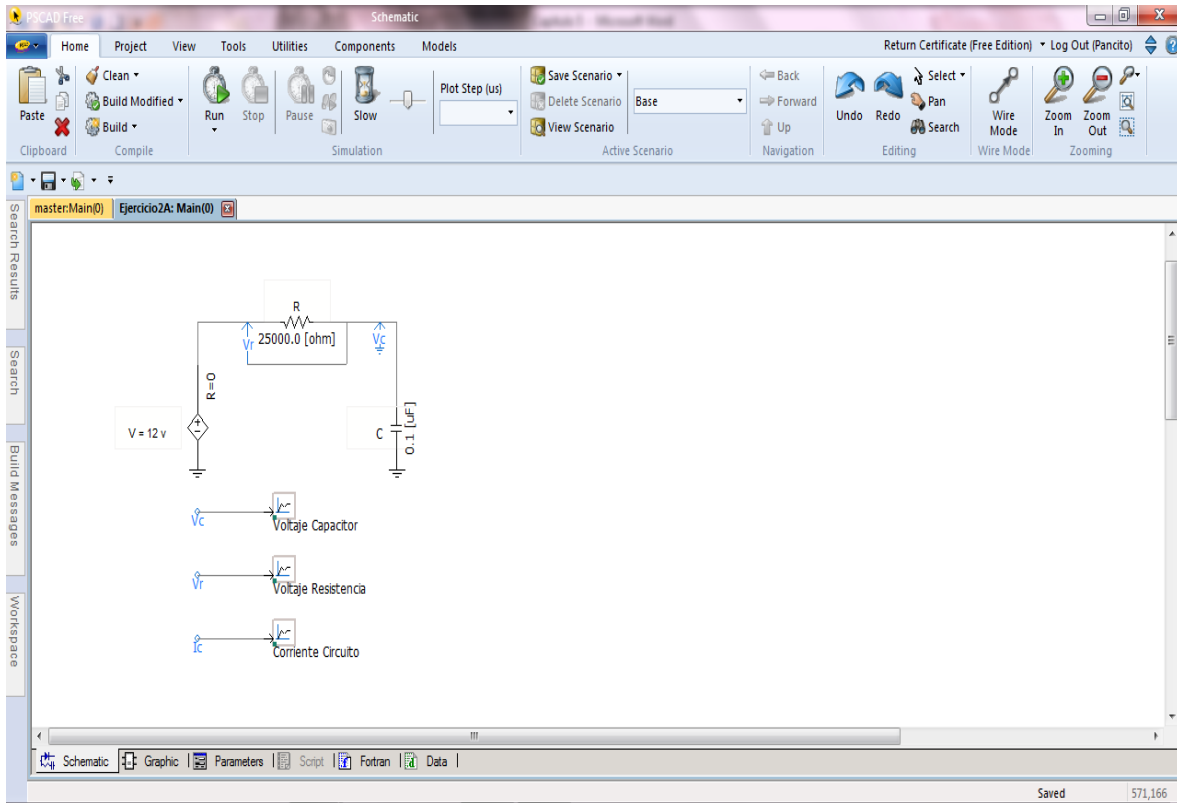
Voltímetro en los extremos de la Resistencia:  $V_r$

Corriente de la fuente que circula por el circuito:  $I_c$



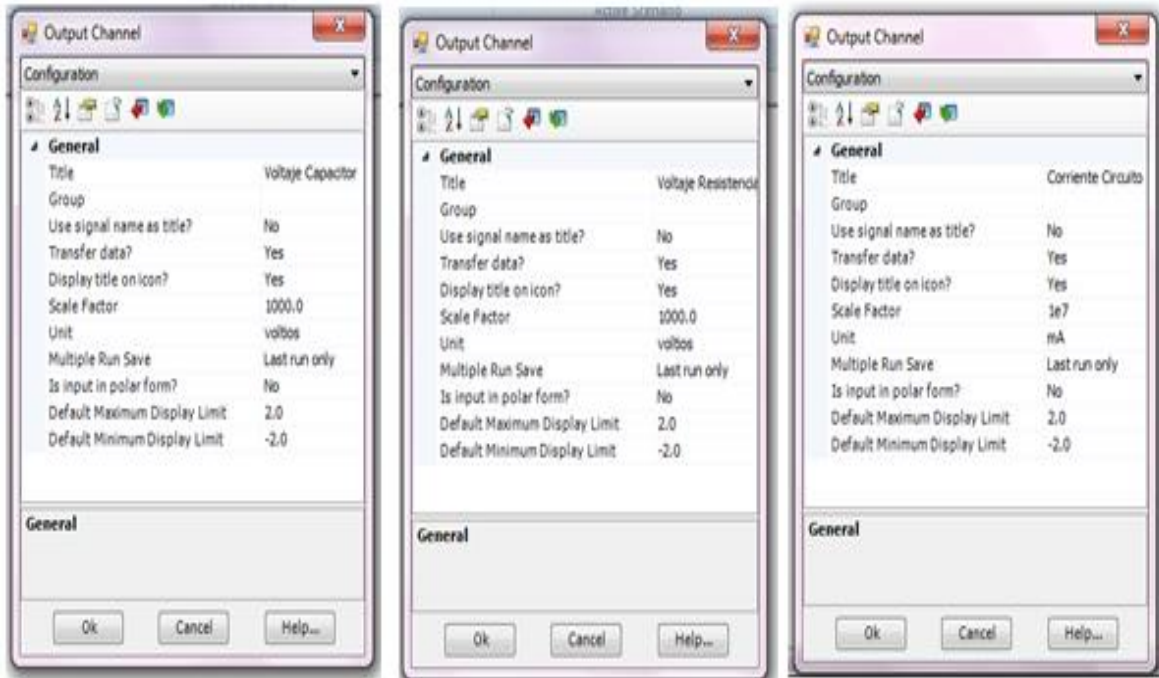
**Figura 80.** Componentes del Circuito RC y Medidores en Área de Trabajo. Fuente: PSCAD (2017).

Representado todo el esquema del circuito y situados en él los medidores de las variables que se consideran de interés, hay que indicarle al programa PSCAD cuáles y como son las variables o medidas que se quieren representar. En “Ejercicio2” hay tres variables representables, la tensión en el condensador  $V_c$ , la tensión entre los extremos de la resistencia  $V_r$  y la intensidad del circuito  $I_c$ . A continuación se escogen de la Barra de Controles los elementos “Data Label” para identificar las variables y “Output Channel” para asignarle valores a las mismas, para comenzar a preparar las gráficas de las variables a representar. (Ver Figura 81).



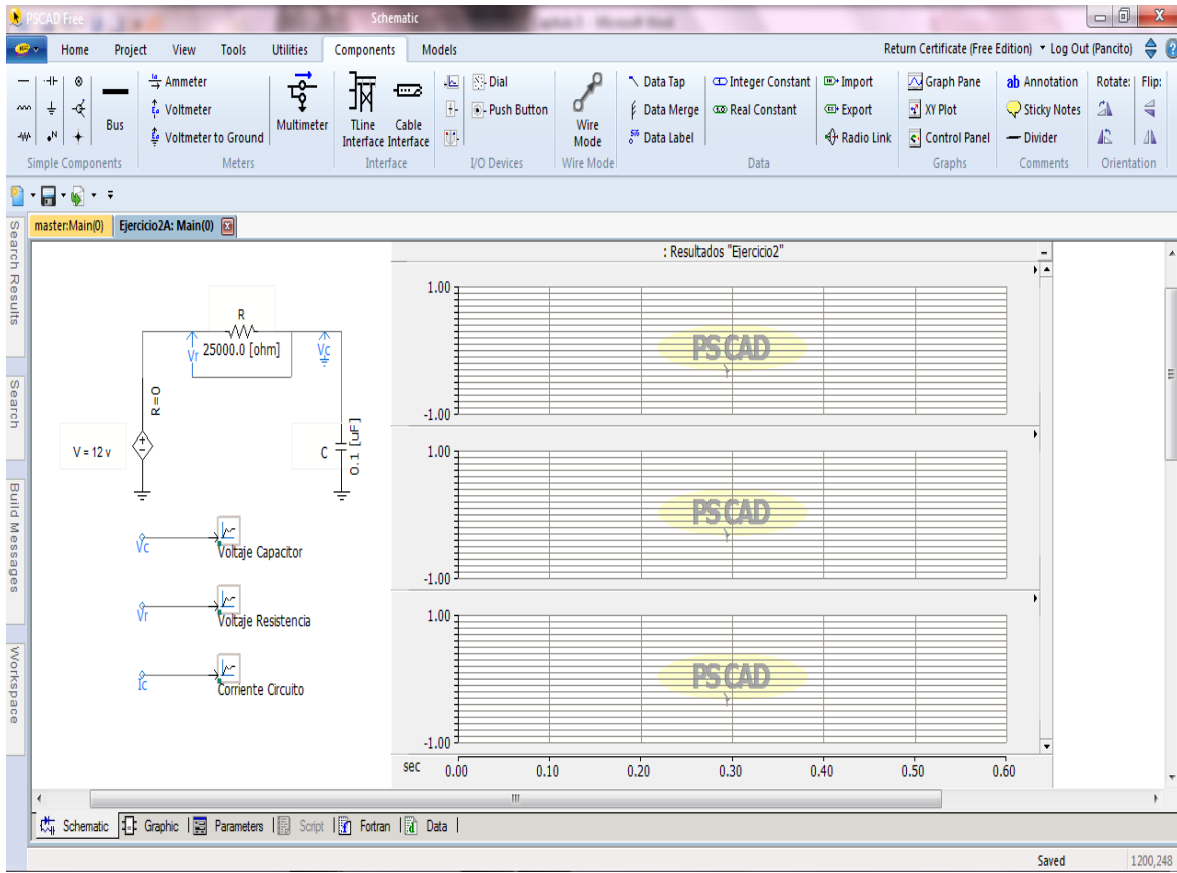
**Figura 81.** Asignación de Nombres y Magnitudes de Variables. Fuente: PSCAD (2017)

Haciendo “doble click” sobre el elemento “Data Label” se pondrá el nombre de las variables en las gráficas, y también haciendo “doble click” sobre el elemento “Output Channel” se le señala al PSCAD como se quiere representarlas (título, unidades, factor de escala, etc.). Las variables  $V_c$ ,  $V_r$  e  $I_c$ , se titularán respectivamente como Voltaje Condensador, Voltaje Resistencia y Corriente del Circuito. (Figura 82)



**Figura 82.** Magnitudes de las Variables. Fuente: PSCAD (2017).

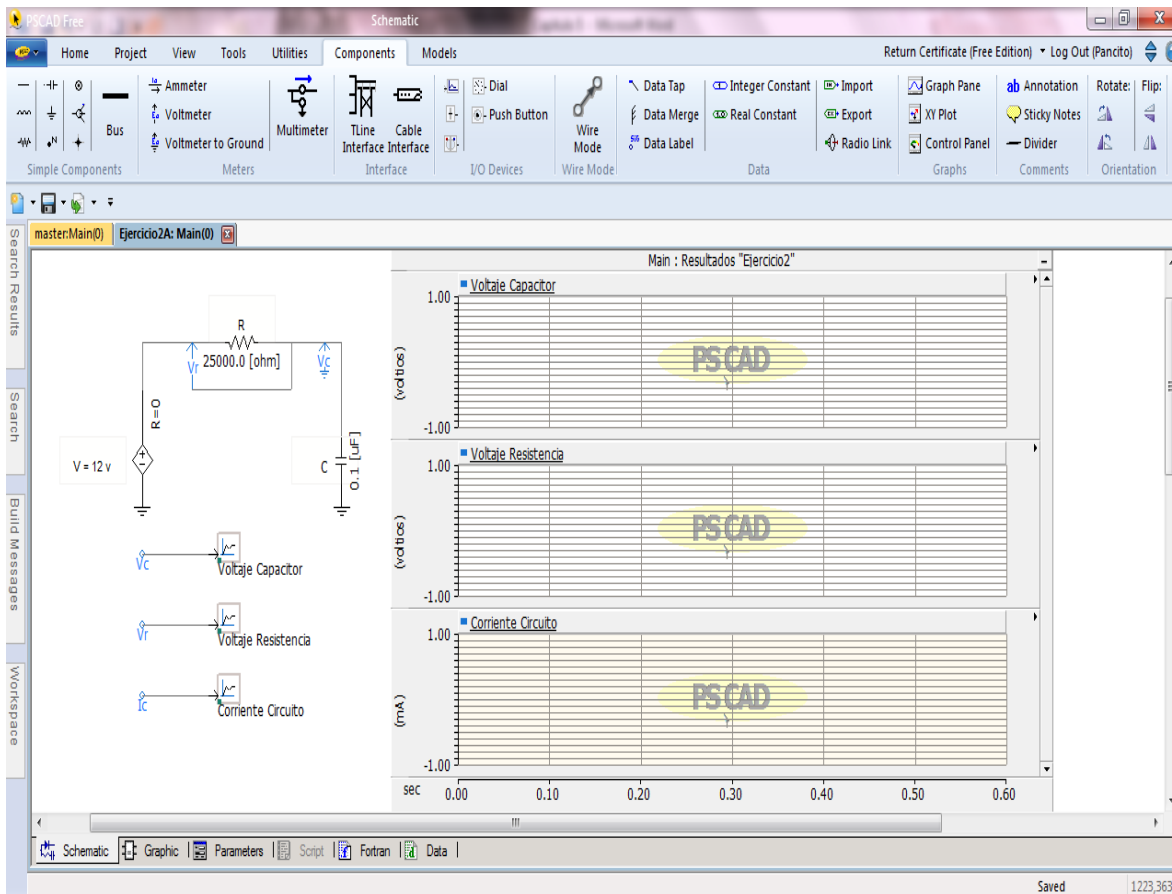
El paso siguiente será configurar la ventana de representación de las diferentes gráficas una vez realizada la simulación. Se usará el comando “Graph Frame” de la Barra de Componentes. Al pulsar sobre el icono ya mencionado aparecerá en el área de trabajo un primer cuadro rodeado de pequeños cuadros verdes que se puede escalar haciendo “click” sobre él y arrastrando los mencionados cuadros que lo rodean. Al hacer “click” con el botón de la derecha en la barra de título del cuadro recién creado, aparece el menú de configuración, y luego al hacer “click” sobre el comando Add Analog Graph, se añadirá una nueva gráfica de representación. Este proceso se debe hacer dos veces más de forma seguida, ya que en “Ejercicio2” se han de graficar tres variables. (Ver Figura 83).



**Figura 83.** Preparación de las Ventanas de Graficado. Fuente: PSCAD (2017).

Ahora hay que situar las tres variables a representar en las gráficas recién creadas. Para enviar estas variables a las gráficas, primero se hace “click” con el botón derecho sobre el “Output Channel” que corresponde al título Voltaje Condensador, luego se pulsa sobre “Add as curve” y después de un “click” con el botón derecho sobre la gráfica superior se selecciona “Paste Curve”. Este proceso se ha de repetir para cada una de las variables. (Ver Figura 84).





**Figura 84.** Preparación de las Ventanas de Gráficoado. Fuente: PSCAD (2017)

Ya presentadas las variables en las gráficas hay que proceder a definir los pasos necesarios para realizar la simulación del circuito y la visualización de los resultados. Se comenzará por fijar los parámetros de la simulación. Para ello, se hace “click” sobre el nombre del proyecto “Ejercicio2” en la solapa “Workspace” y se escoge la opción “Project Settings”.

Se procede a fijar los parámetros más relevantes de la simulación, que son, como se señaló en el ejercicio de simulación anterior: File, Description, Duration of run (sec): 0.6 seg, EMTDC time step (uS): 50 useg, PSCAD plot step (uS): 50 useg. Una vez configurada la simulación se pulsa el botón de inicio de simulación “RUN” situado en la Barra de Herramientas. El proyecto comenzara así a ser compilado y una vez finalizada la simulación los resultados de la misma se podrá observar en las gráficas creadas anteriormente, como se aprecia en las Figuras 85 y 86.

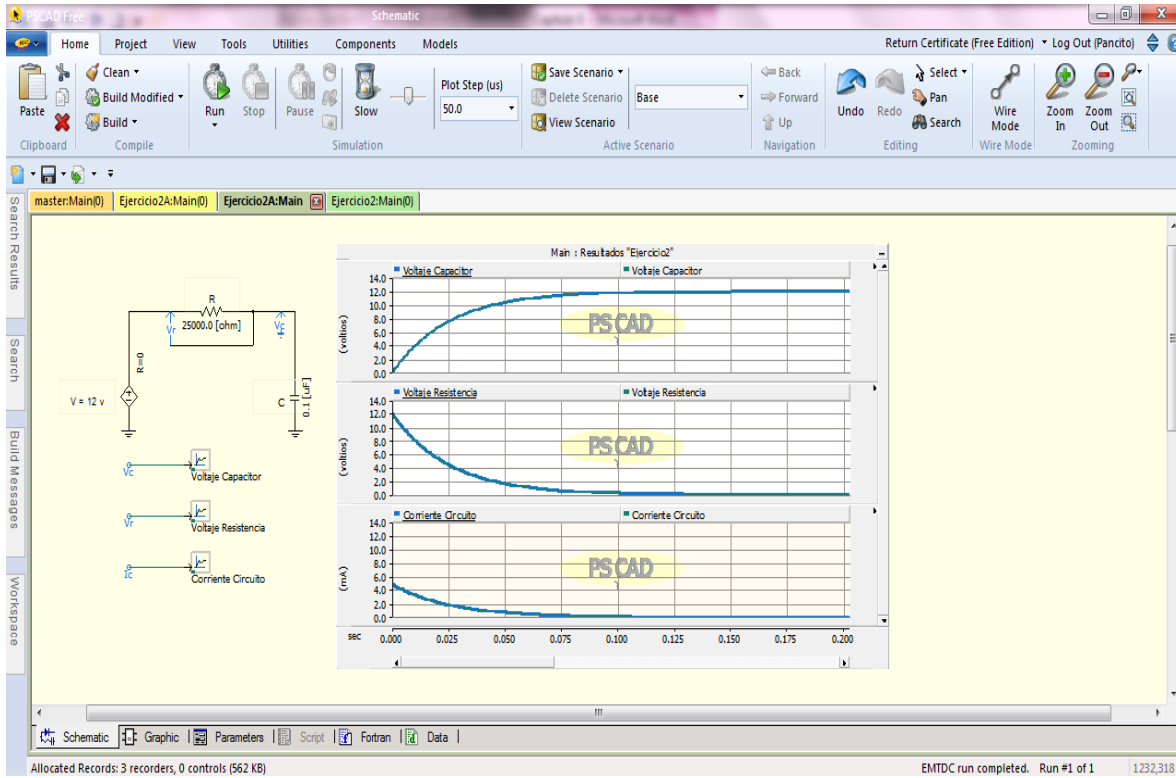


Figura 85. Gráficas de las Variables. Fuente: PSCAD (2017).

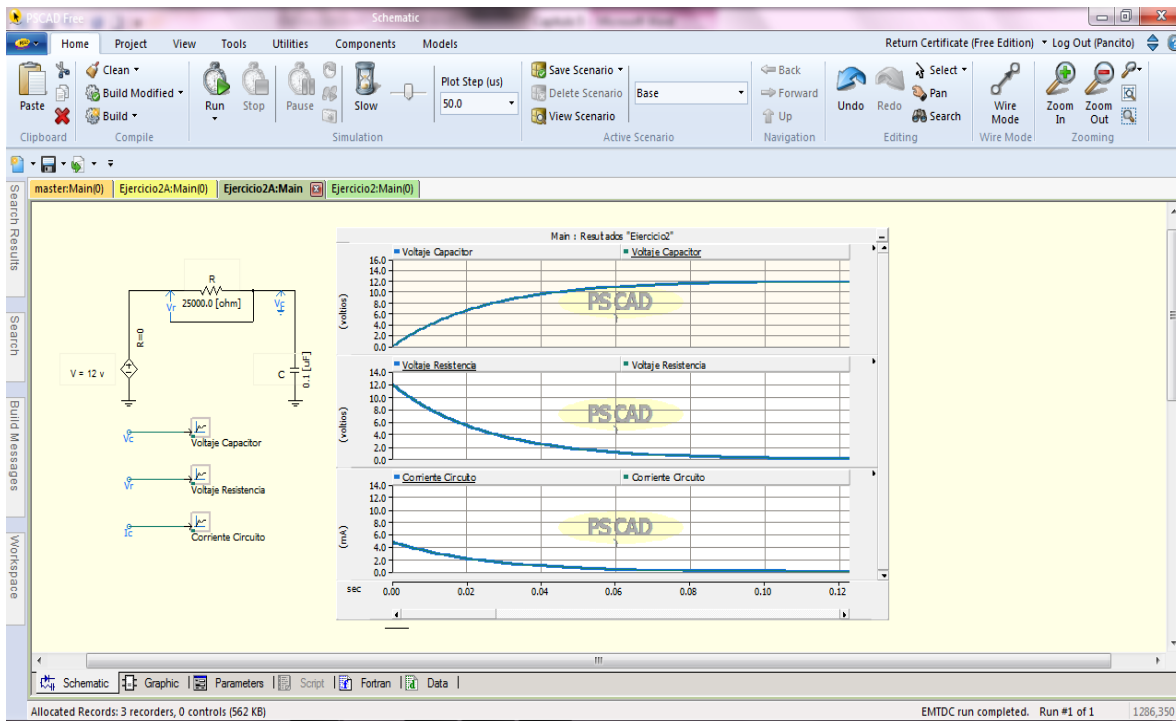


Figura 86. Gráfica de las Variables con Escalas Diferentes. Fuente: PSCAD (2017)

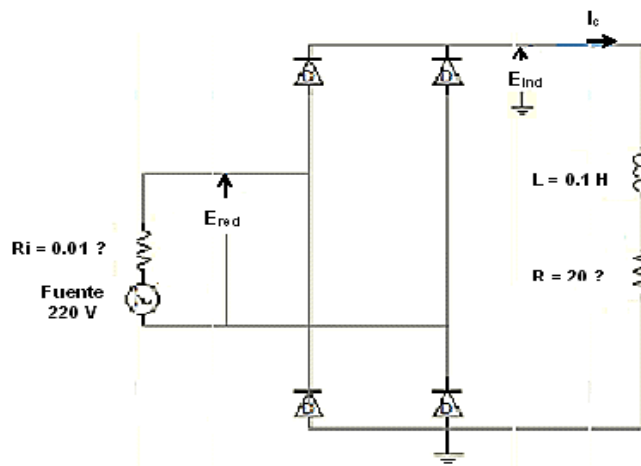
5.3. Ejercicio 3

Simular el funcionamiento de un Circuito Rectificador Monofásico de Onda Completa que alimenta una carga pasiva del tipo RL (Ver Figura 87). Las tres magnitudes que se desean seguir durante la simulación, son las siguientes:

Tensión de Red

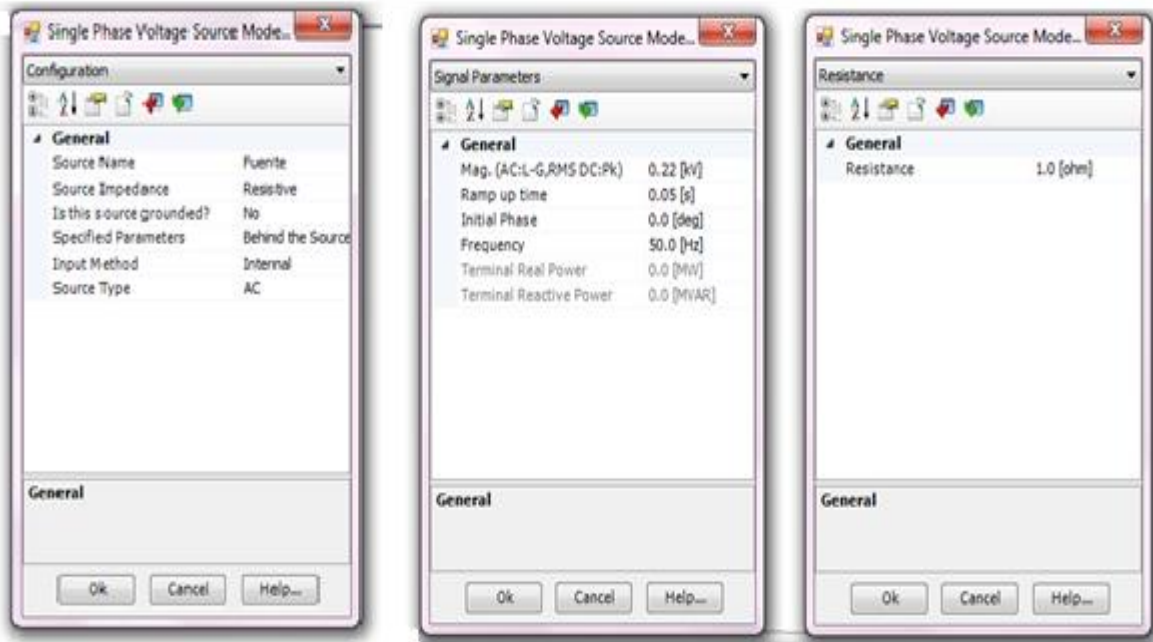
Tensión Inducida después del Puente Rectificador

Corriente en el Circuito Rectificado



**Figura 87.** Circuito Rectificador con Carga Pasiva RL. Fuente: PSCAD (2017)

Como en los dos ejercicios anteriores lo primero es crear y grabar un nuevo proyecto utilizando el procedimiento ya conocido. El nombre escogido en este caso será “Ejercicio3”. Luego, se buscarán en el Master Library los elementos a conformar el circuito eléctrico; para ello se usaran ciertos componentes incluidos en los diferentes módulos de esta aplicación, comenzando por una fuente de tensión alterna de 220 voltios, que será copiada del módulo Sources (Figura 88) y luego parametrizada de acuerdo con los siguientes valores:



**Figura 88.** Magnitudes de la Fuente de Tensión. Fuente: PSCAD (2017)

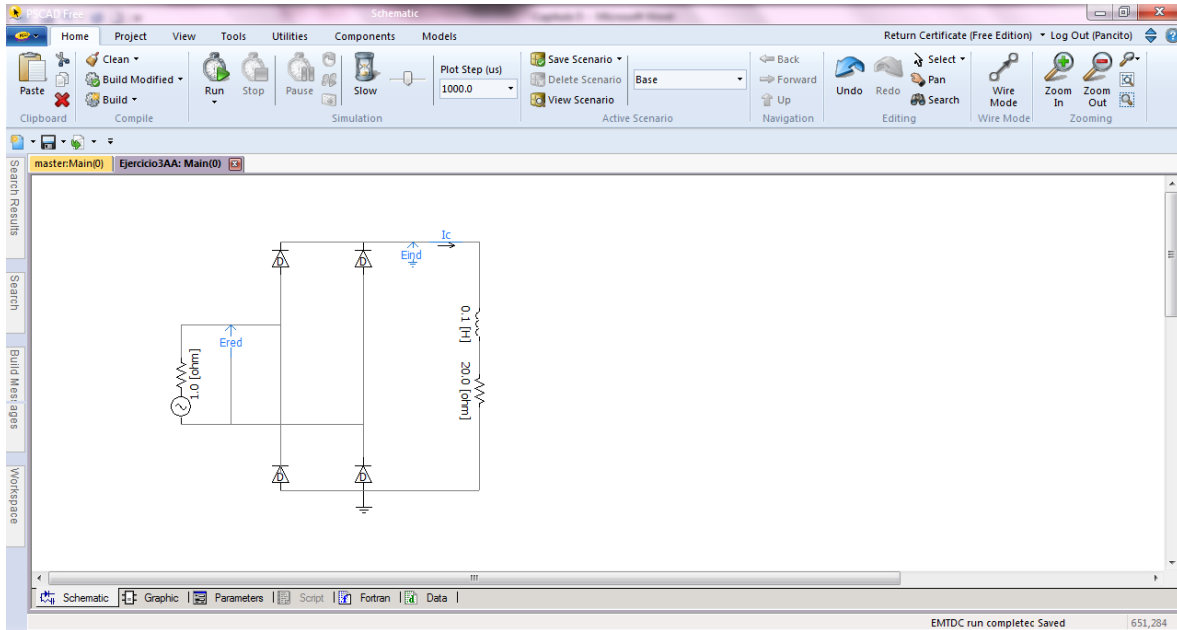
Luego hay que situar los componentes de la carga pasiva compuesta por una resistencia y un inductor que se conectarán en serie, habrá que asignarle valores numéricos haciendo “doble click” sobre cada uno de ellos accediendo de esa manera a las diferentes pantallas de edición de sus parámetros.

$$R = 20 \Omega \quad L = 0.1 \text{ H}$$

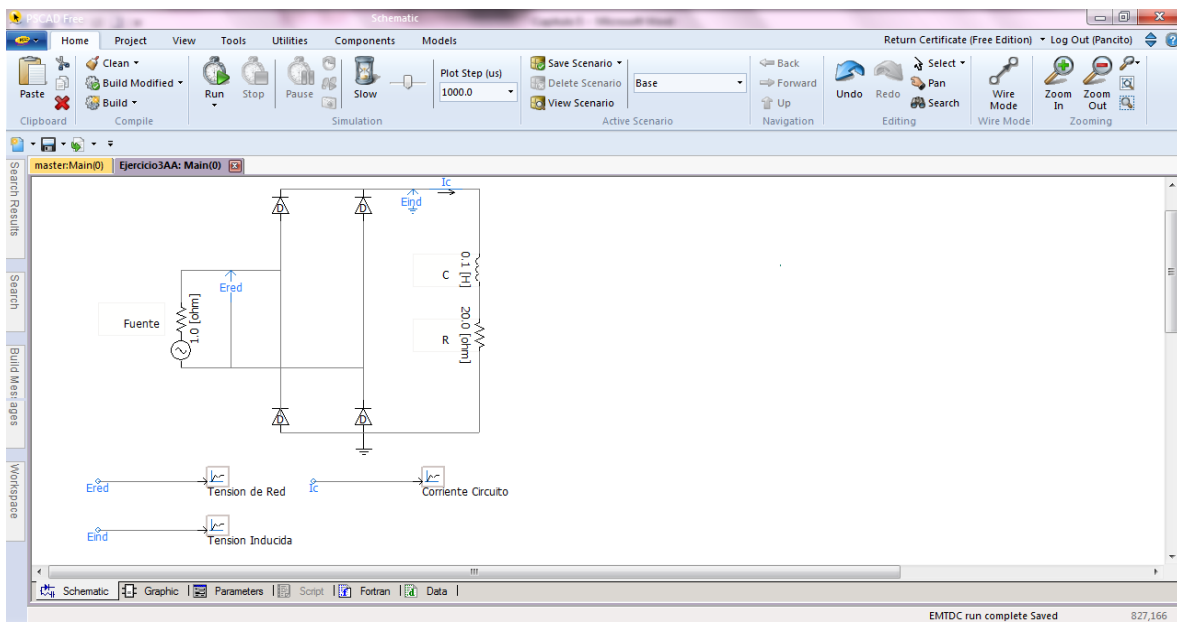
Ahora toca buscar y copiar los diodos que componen el puente rectificador (módulo HVDC&FACTS). Una vez copiado y parametrizado un diodo se copiará tres veces más para poder formar el puente rectificador de onda completa. Este puente tiene que ser conectado, según el diagrama eléctrico, a la fuente alterna y a la carga pasiva mediante el uso de la herramienta “Wire”. Por último, se deberá agregar un elemento tierra en la parte inferior del circuito para cerrar el mismo.

Ya armado el circuito lo que falta es colocar los medidores de las variables a representar. En este caso hay que colocar un amperímetro en serie con la carga para medir la corriente del circuito  $I_c$  y dos voltímetros, uno para medir la tensión de la red  $E_{red}$  colocado a la salida

de la fuente y otro para medir la caída de tensión en la carga después del puente rectificador  $E_{ind}$ , donde al estar un extremo de la carga a tierra, bastará con que se mida la diferencia de potencial entre el otro extremo y tierra por lo cual se utilizará el elemento voltímetro a tierra. (Figuras 89 y 90). Se procederá entonces como en los ejercicios anteriores.



**Figura 89.** Presentación del Circuito en Área de Trabajo. Fuente: PSCAD (2017).



**Figura 90.** Asignación de Nombres y Magnitudes de Variables. Fuente: PSCAD (2017).

El próximo paso será utilizar los comandos “Data Label” y “Output Channel”, de la parte superior de la Barra de Componentes, para indicarle al PSCAD que se van a monitorear unas determinadas señales asociadas a datos concretos, guardando en la memoria del software el nombre de las señales que se pretende mostrar como curvas. (Figura 91)

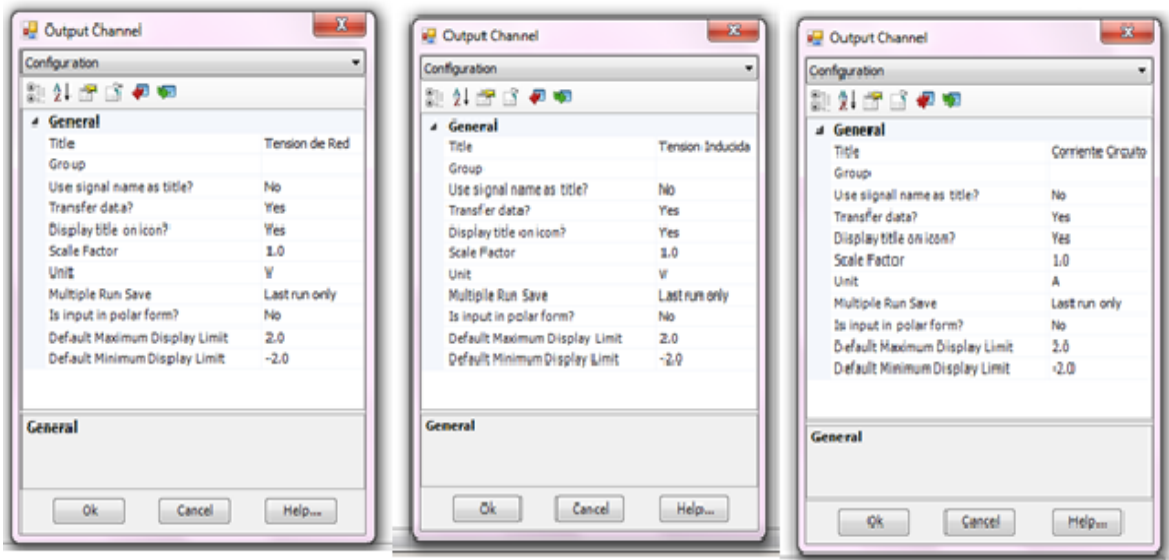


Figura 91. Magnitudes de Medidores. Fuente: PSCAD (2017)

Este procedimiento se ejecuta como en los ejercicios anteriores y se pasa a la preparación de las curvas donde se van a graficar las variables a representar. (Figura 92)

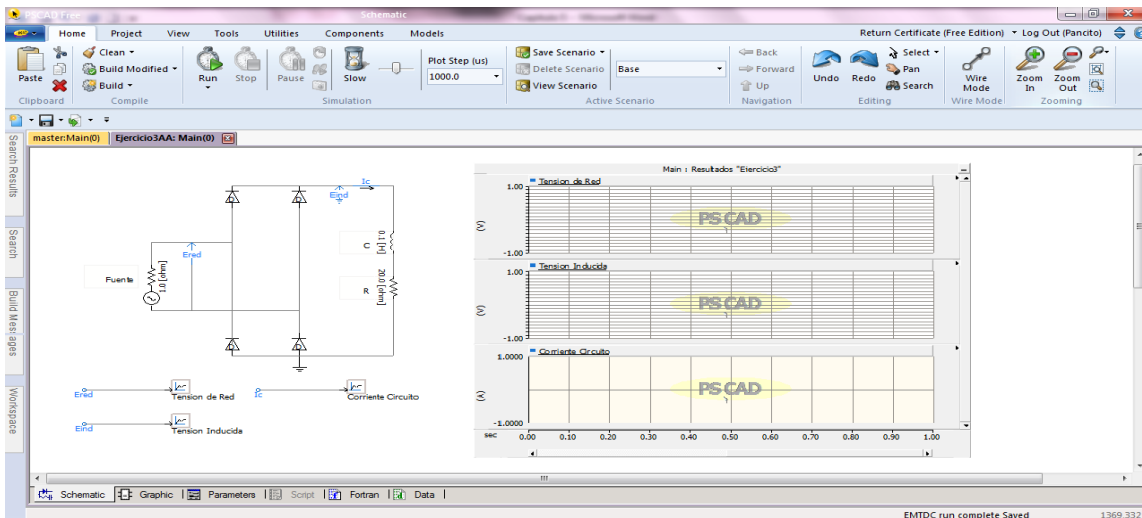


Figura 92. Proceso de Graficado de Variables. Fuente: PSCAD (2017)

El resto del proceso hasta llegar a la simulación es igual a lo explicado en los ejercicios anteriores. Se preparan las curvas, se identifican y si hay necesidad se cambian algunos de sus parámetros. Al final se pulsa “RUN” y debe dar resultados como los mostrados en las Figuras 93 a la 95.

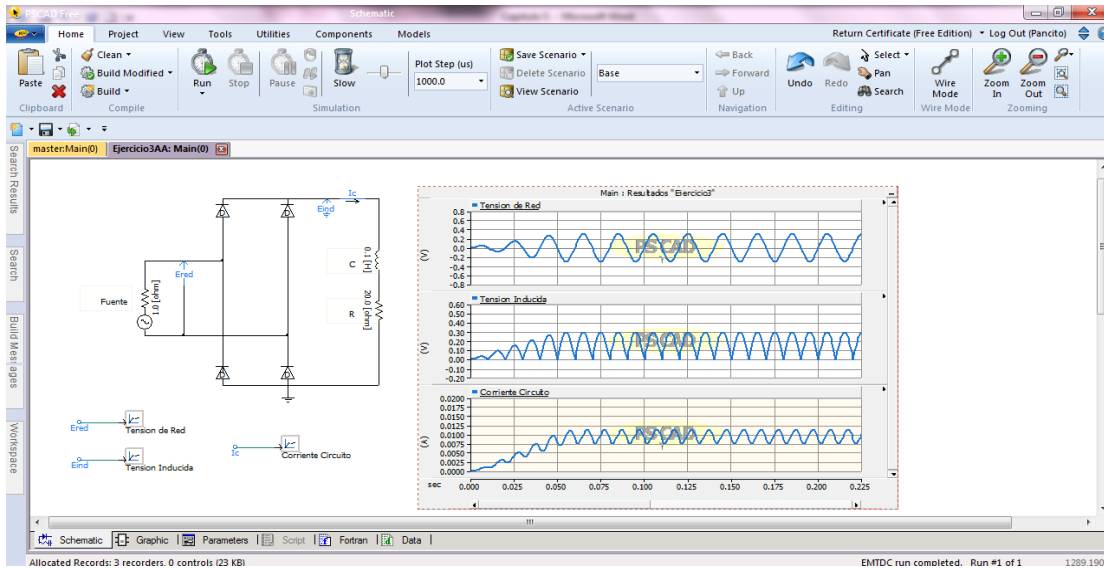


Figura 93. Gráficas de las Variables. Fuente: PSCAD (2017).

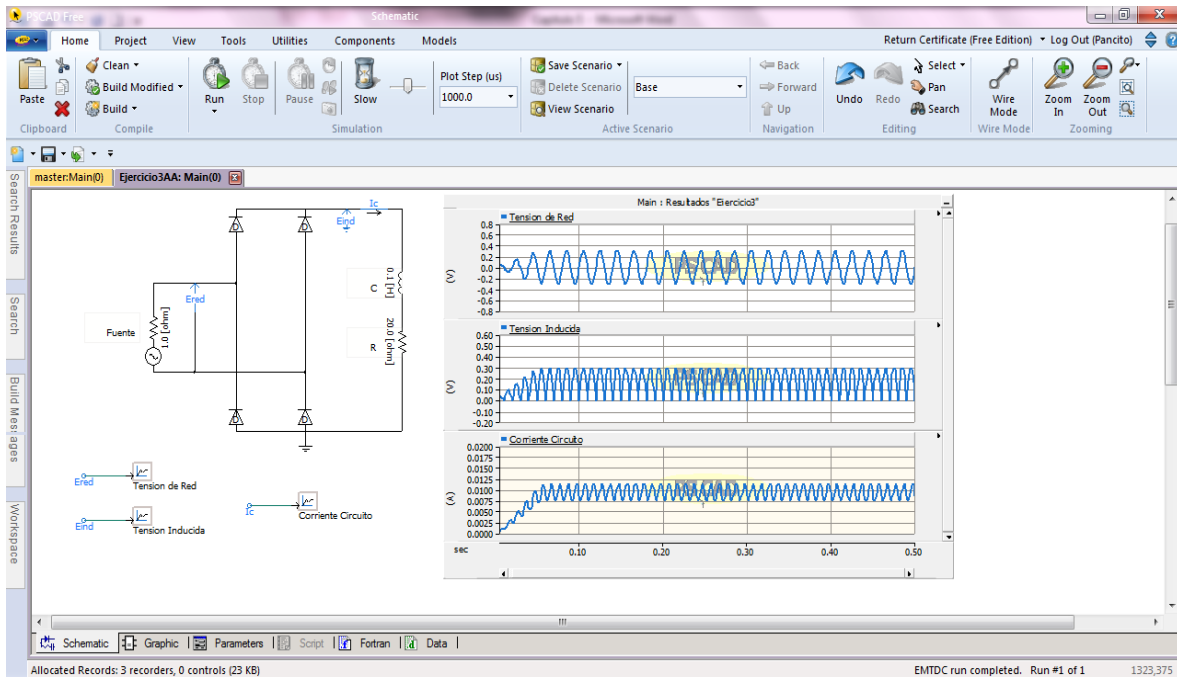
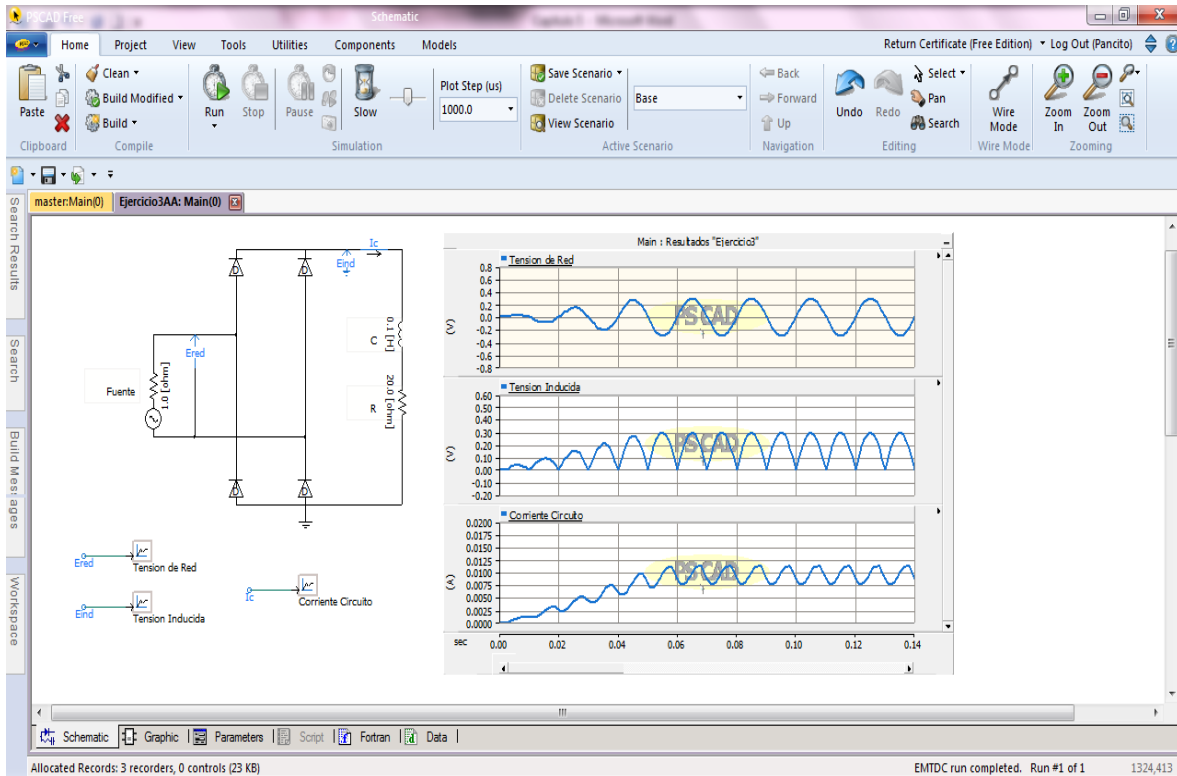


Figura 94. Gráficas de las Variables a Diferentes Escalas. Fuente: PSCAD (2017)



**Figura 95.** Gráficas de las Variables a Diferentes Escalas. Fuente: PSCAD (2017)

#### 5.4. Ejercicio 4

Se pide analizar el funcionamiento de un rectificador de entrada-salida de media onda, primero conectado a una carga resistiva pura y luego a una carga resistiva-inductiva. Con la ayuda del PSCAD se deberá hacer la simulación correspondiente a cada caso y luego realizar el análisis de los resultados obtenidos, (Ver Figura 96).

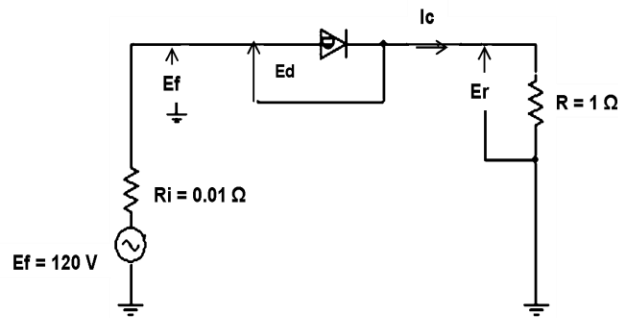
Los componentes del circuito con carga puramente resistiva son los siguientes:

Fuente sinusoide: 120 V,rms.

Frecuencia: 60 Hz.

Resistencia de carga: 1  $\Omega$ .





**Figura 96.** Circuito Rectificador Media Onda con Carga Resistiva. Fuente: PSCAD (2017)

Se han de conectar medidores en varios puntos del circuito. Las variables a medir por estos instrumentos serán:

Ef: voltaje de la fuente

Ed: voltaje a través del diodo

Er: voltaje de salida en la carga resistiva

Ic: corriente a través de la resistencia de carga

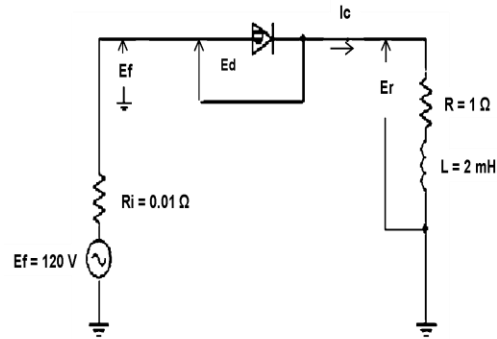
Posteriormente después de simular el rectificador de media onda con carga resistiva, se agregara un inductor de 2 mH añadido en serie con la resistencia de carga para así representar una carga resistiva-inductiva simple del motor. (Figura 97) Los componentes del circuito con carga resistiva-inductiva son:

Fuente senoide: 120 V rms

Frecuencia: 60 Hz.

Resistencia de carga: 1 Ω

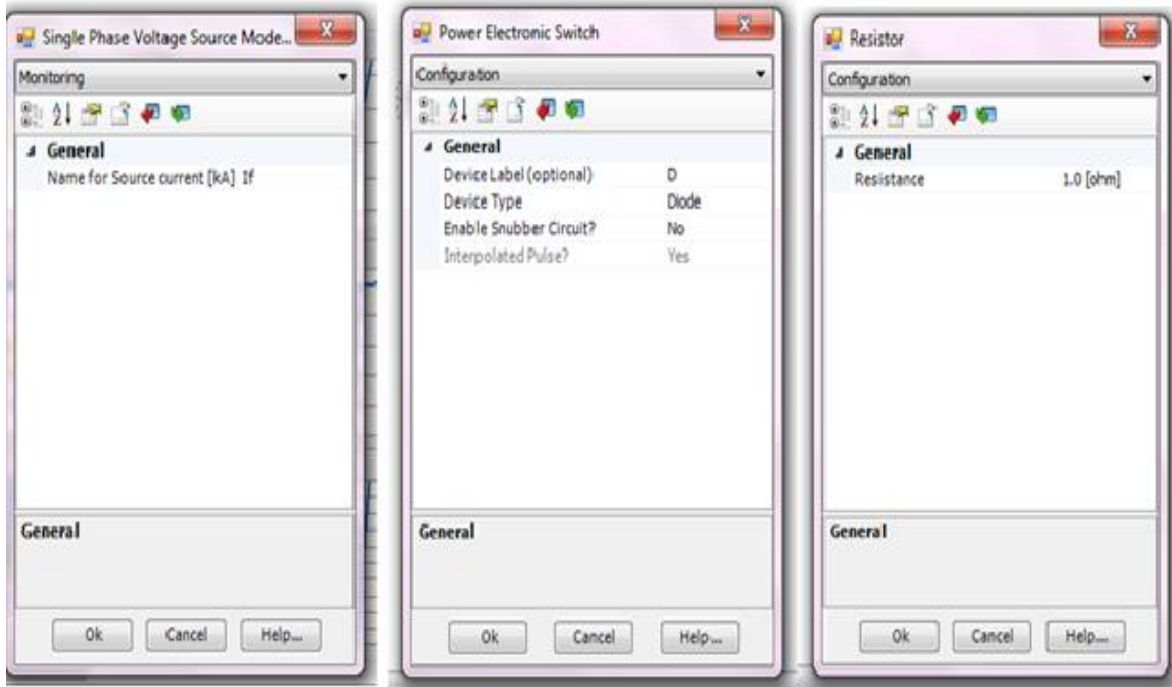
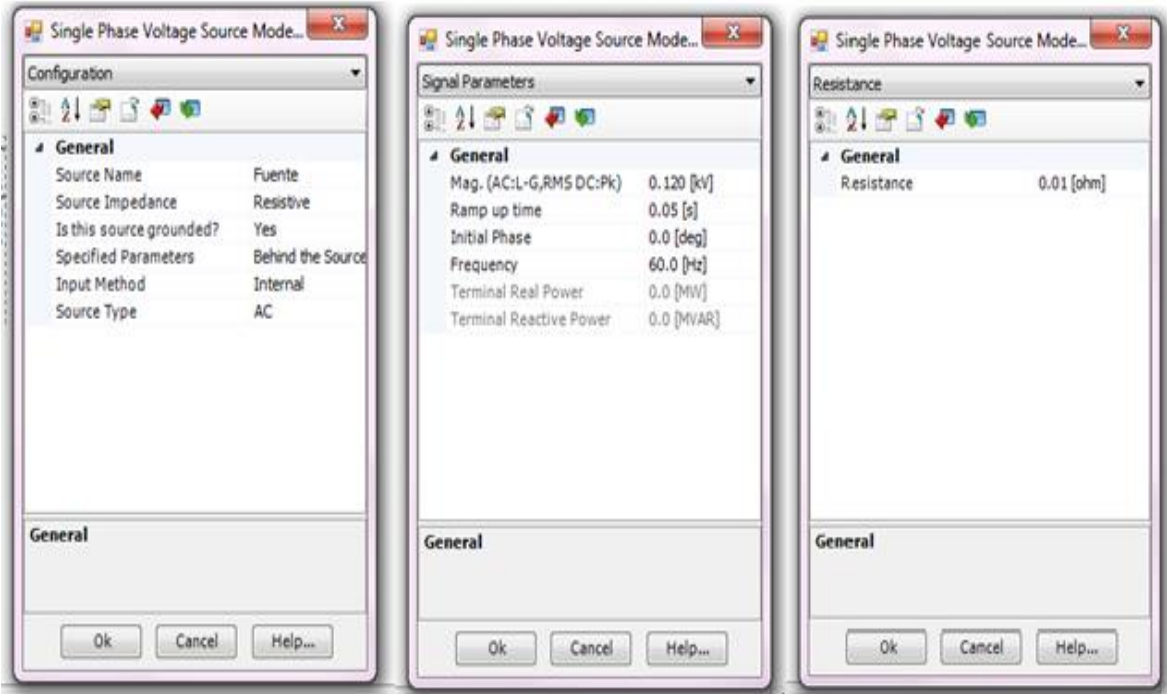
Inductancia: 2 mH

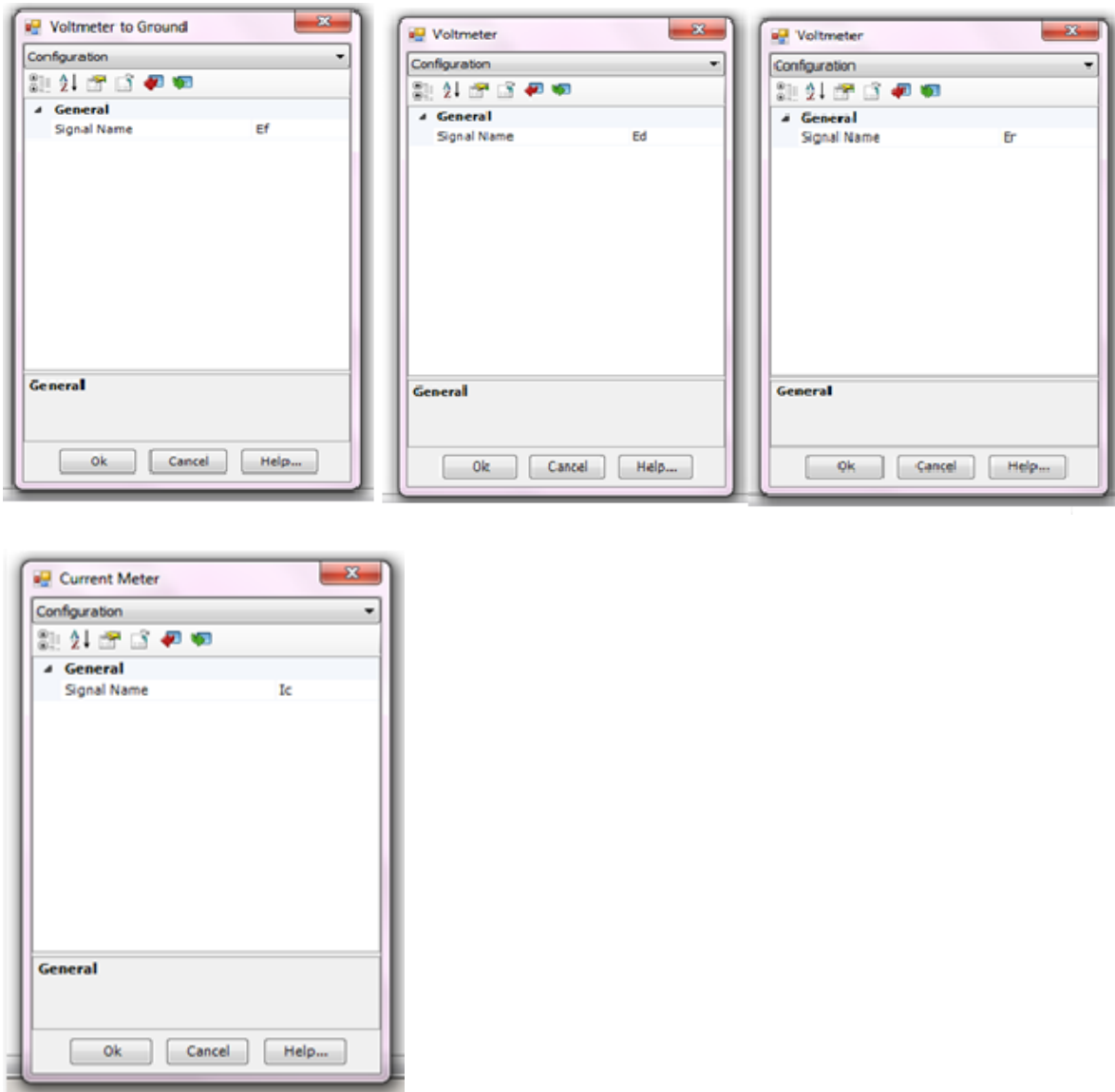


**Figura 97.** Circuito Rectificador Media Onda con Carga Resistiva - Inductiva. Fuente: PSCAD (2017)

En este ejercicio se crearán y grabarán dos proyectos, “Ejercicio4A” y “Ejercicio4B”. El primero será para hacer la simulación del circuito con una carga resistiva pura y el segundo, “Ejercicio4A”, para una carga resistiva-inductiva. Una vez simulados los dos casos se procederá a la realización de los análisis correspondientes. El proceso es muy similar a los casos estudiados anteriormente.

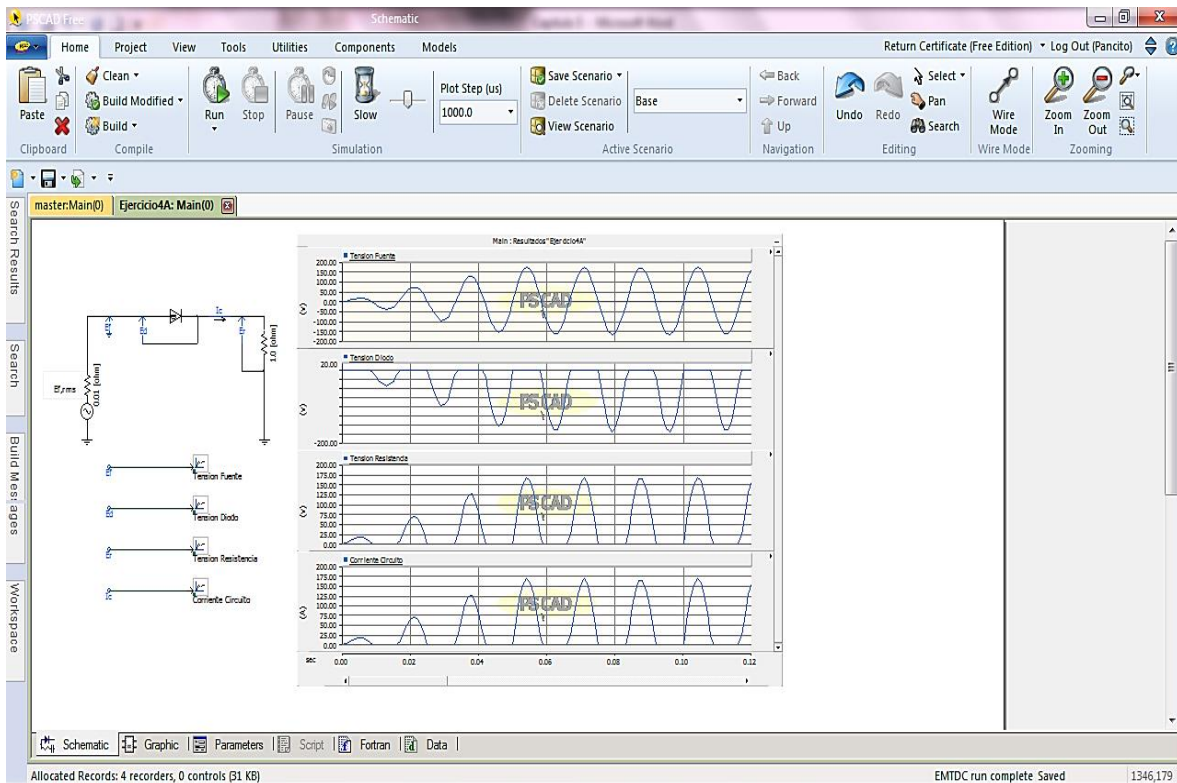
Una vez que los esquemas eléctricos son construidos se hacen las simulaciones de cada sistema usando el paquete PSCAD y posteriormente se realizará el análisis comparando los resultados de las simulaciones obtenidas para cada ejercicio. El procedimiento para hacer las simulaciones es el mismo explicado hasta ahora. Primero se crea el nuevo archivo “Ejercicio4A” y se graba. Luego se dibuja el esquema de su circuito resistivo puro en el área de trabajo tomando en cuenta componentes y medidores así como los cables de conexión entre ellos. Todos y cada uno de los elementos del sistema deben ser parametrizados a fin de que el programa no presente errores al momento de la simulación. Luego se han de preparar las pantallas de visualización de las variables a representar y después se procede por fin a ejecutar la simulación. (Ver Figuras 98 y 99). Los parámetros a usar en el ejercicio “4A” son los siguientes:





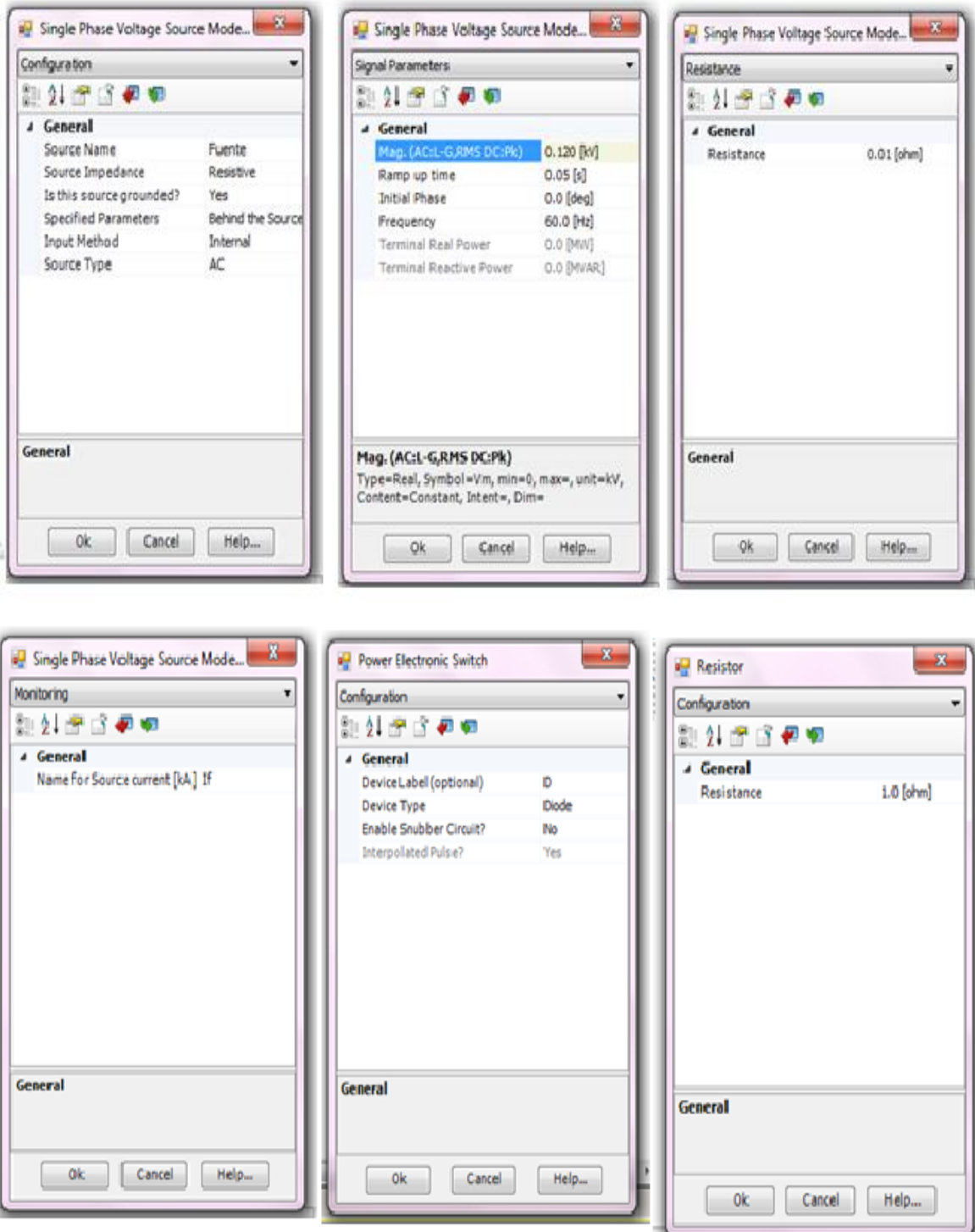
**Figura 98.** Nombres y Magnitudes de Variables y Medidores Ejercicio 4A. Fuente: PSCAD (2017)

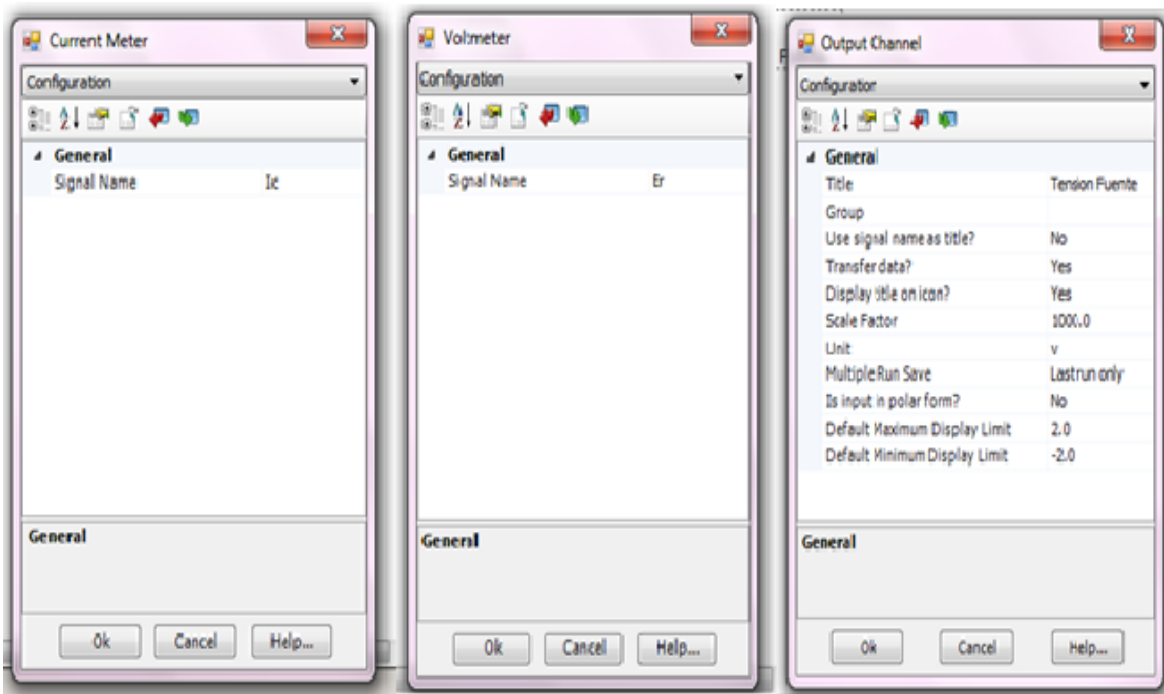
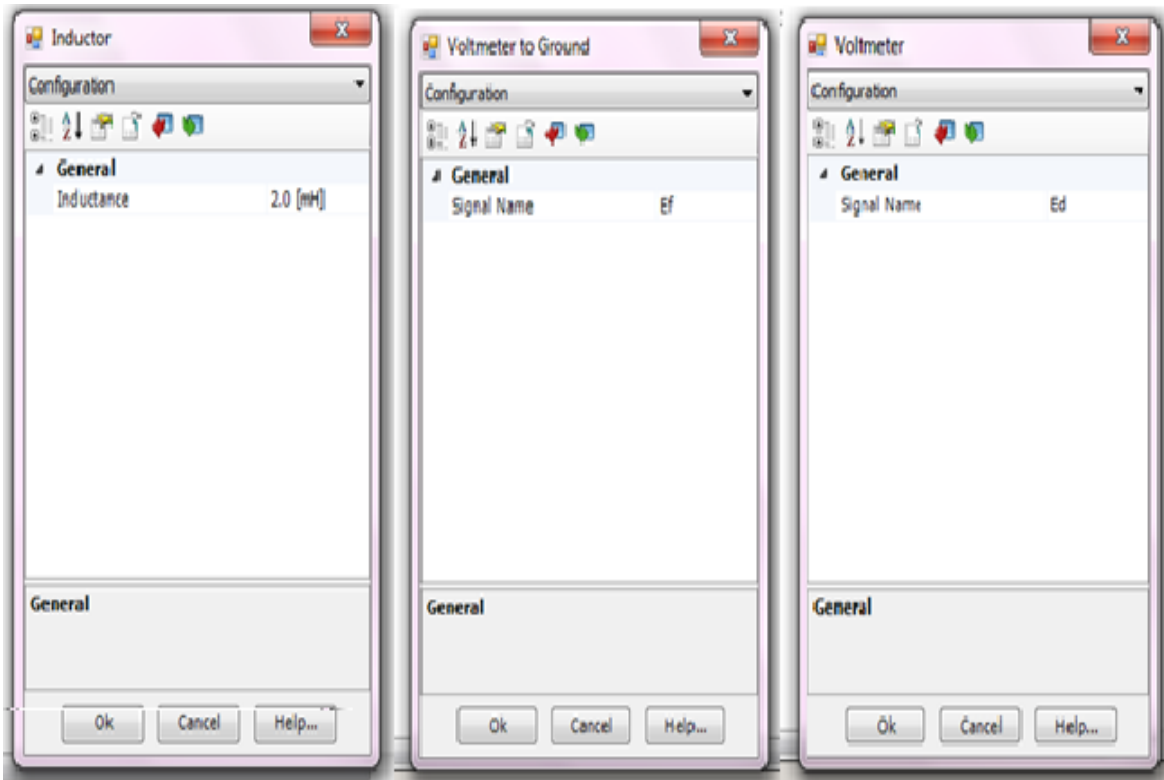
Los resultados de “Ejercicio4A” son los siguientes:

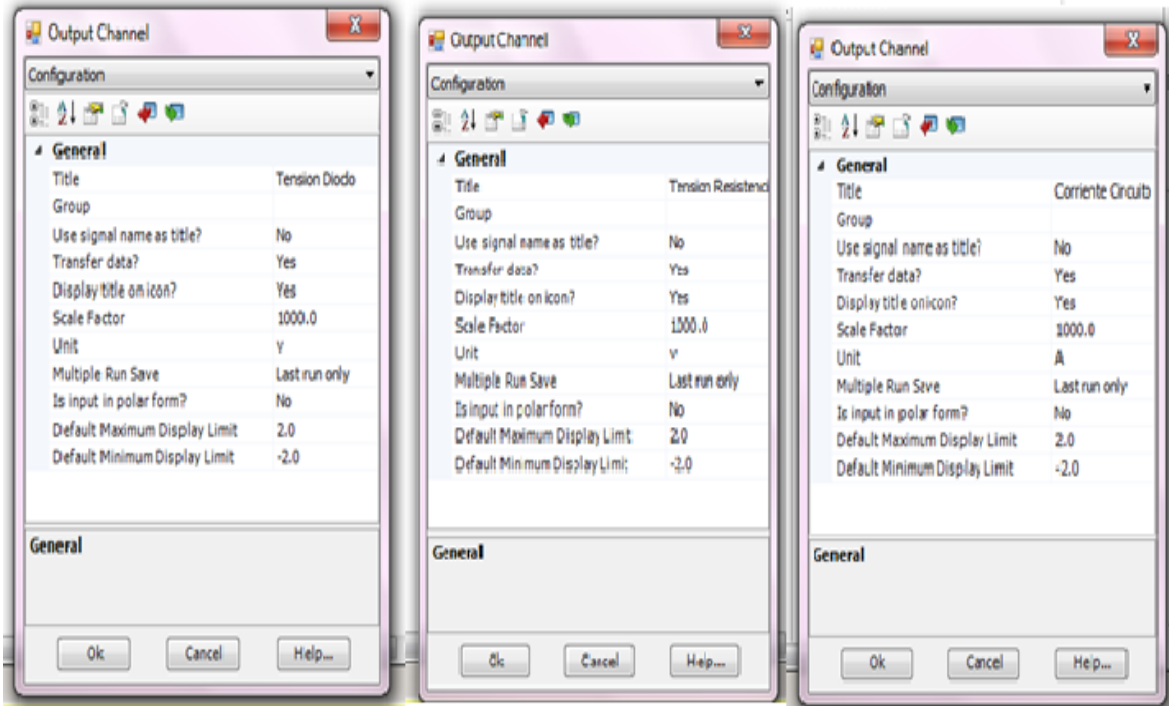


**Figura 99.** Gráficas de las Variables. Fuente: PSCAD (2017)

Para la segunda parte del problema (carga resistiva-inductiva) se crea y se guarda el proyecto “Ejercicio4B” y se siguen todos los mismos pasos de la primera parte. Los parámetros de cada componente se muestran en los siguientes gráficos. Basta con que el estudiante los descargue en el programa PSCAD para que obtenga los resultados que se mostraran en la simulación. (Figura 100)

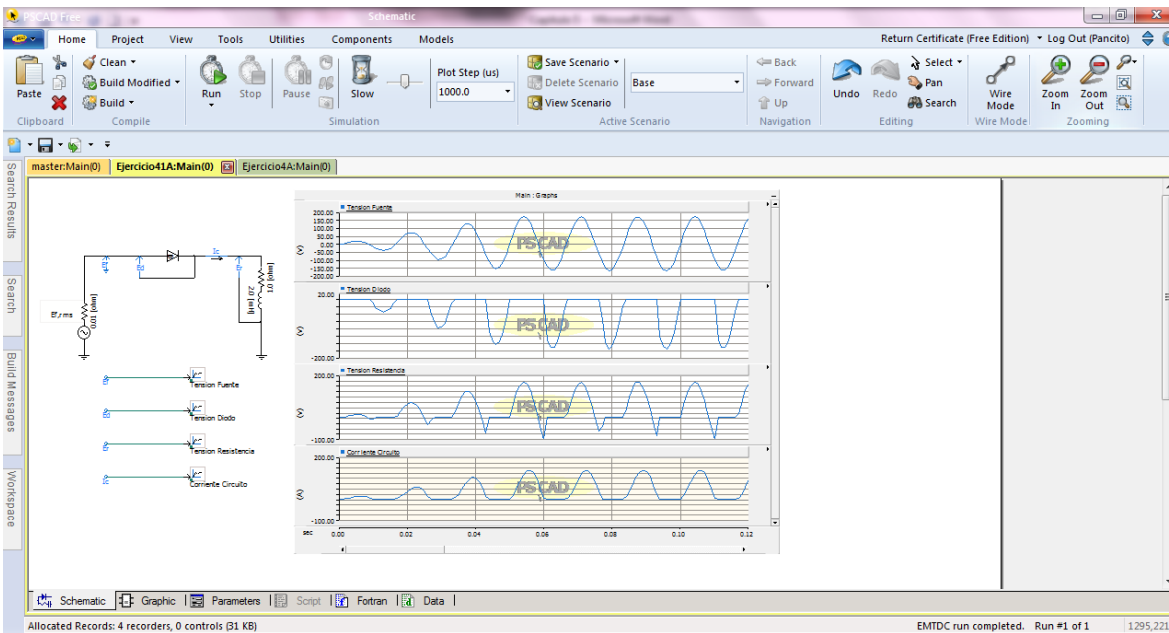






**Figura 100.** Nombres y Magnitudes de Variables y Medidores Ejercicio 4B. Fuente: PSCAD (2017)

Una vez ya cargados todos los datos en el programa PSCAD se procede con la nueva simulación. (Figura 101) Estos son los resultados obtenidos en “Ejercicio4B”:

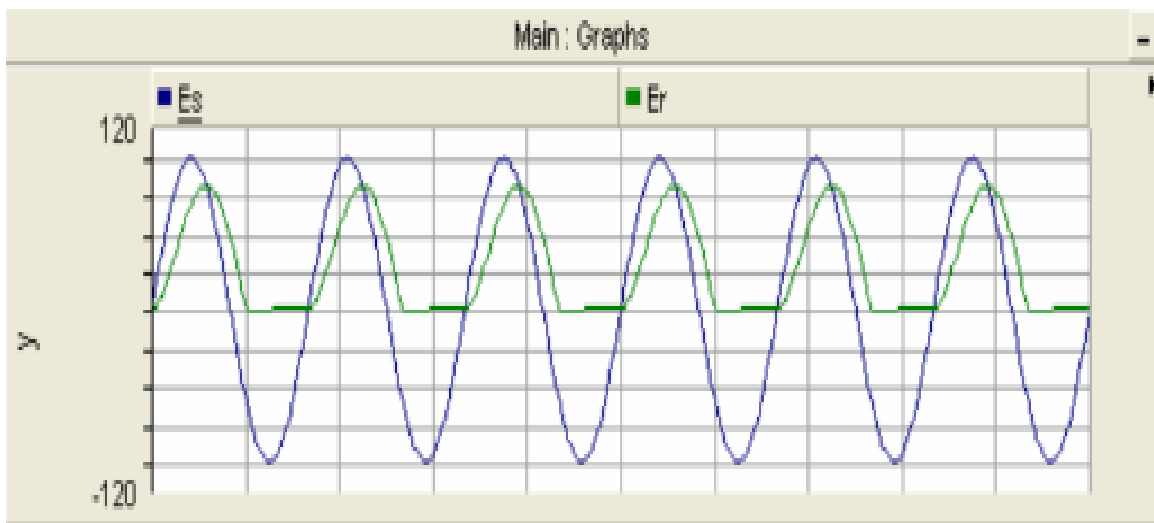


**Figura 101.** Gráficas de Variables. Fuente: PSCAD (2017)



Ahora le toca al estudiante comparar y analizar los resultados de ambas simulaciones y sacar las conclusiones finales del ejercicio de acuerdo con el enunciado del problema. De los resultados de la simulación se observa que para el semiciclo positivo de la fuente, el diodo está polarizado hacia delante y la tensión de salida es igual a la tensión de entrada, mientras que para el semiciclo negativo de la fuente, el diodo está polarizado inversamente, haciendo que la salida de tensión y la corriente sean igual a cero.

Es importante destacar, que después de simular el rectificador de media onda con carga resistiva, se agregó un inductor de 2 mH añadido en serie con la resistencia de carga para representar una carga simple del motor. A partir de este resultado, se pudo observar que al añadir inductancia a la carga, el voltaje a través de la resistencia de carga retrasa la tensión de entrada debido a que la inductancia de carga hace que la corriente de salida retrase la tensión de salida. Luego, si se reduce el valor del inductor el voltaje a través de la resistencia de carga retrasa el voltaje de entrada pero si se aumenta el efecto de retraso es aún más obvio. En esta simulación, los resultados cuantitativos muestran que la corriente de salida y la tensión son como la suma de la respuesta forzada y la respuesta natural. También en esta simulación se pueden visualizar diferentes observaciones de las formas de onda al cambiar los valores de los componentes, tal y como se refleja en la Figura 102.



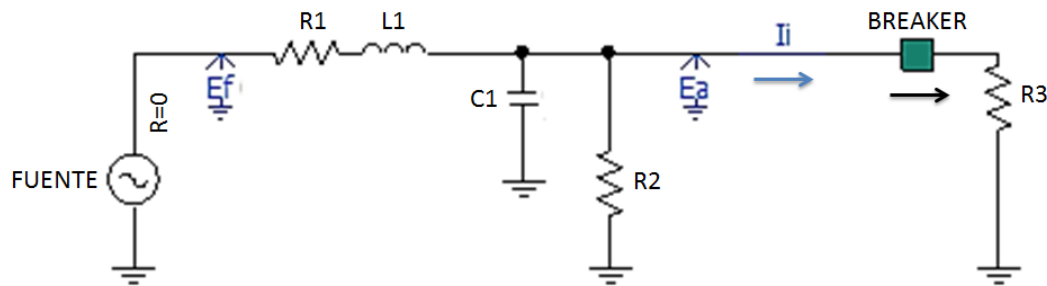
**Figura 102.** Resultados de la simulación de un rectificador de media onda con carga inductiva-resistiva. Fuente: PSCAD (2017)

Este ejemplo de rectificador de entrada-salida de media onda permite visualizar un estudio de simulación por ordenador de circuitos electrónicos de potencia básicos utilizando el paquete de software Power System Computer Aided Design (PSCAD). La simulación de los circuitos electrónicos de potencia proporciona a los estudiantes la oportunidad de observar los parámetros del circuito y las formas de onda de la señal antes de que el circuito sea construido en físico.

### 5.5. Ejercicio 5

En el siguiente ejercicio se estudiará la sobretensión temporal causada por pérdida de una carga resistiva, de duración 20 milisegundos hasta varios segundos, poco amortiguada y de frecuencia igual o similar a la de su operación. Su forma de onda normalizada es la de una tensión a 60 Hz y 60 segundos de duración. Los transitorios, interacción momentánea de energías almacenadas en campos eléctricos y magnéticos originados por pérdidas de carga crean sobretensiones entre 1,1 p.u. y 1,5 p.u.

A continuación se presenta la Figura 103 con el siguiente circuito:



**Figura 103.** Circuito RLC con *Breaker* incorporado.

Dónde los valores que tendremos serán:

Fuente Alterna: 240 V con una  $R_i = 0 \Omega$

$R_1 = 0,0 \Omega$

$L_1 = 0,1 \text{ H}$

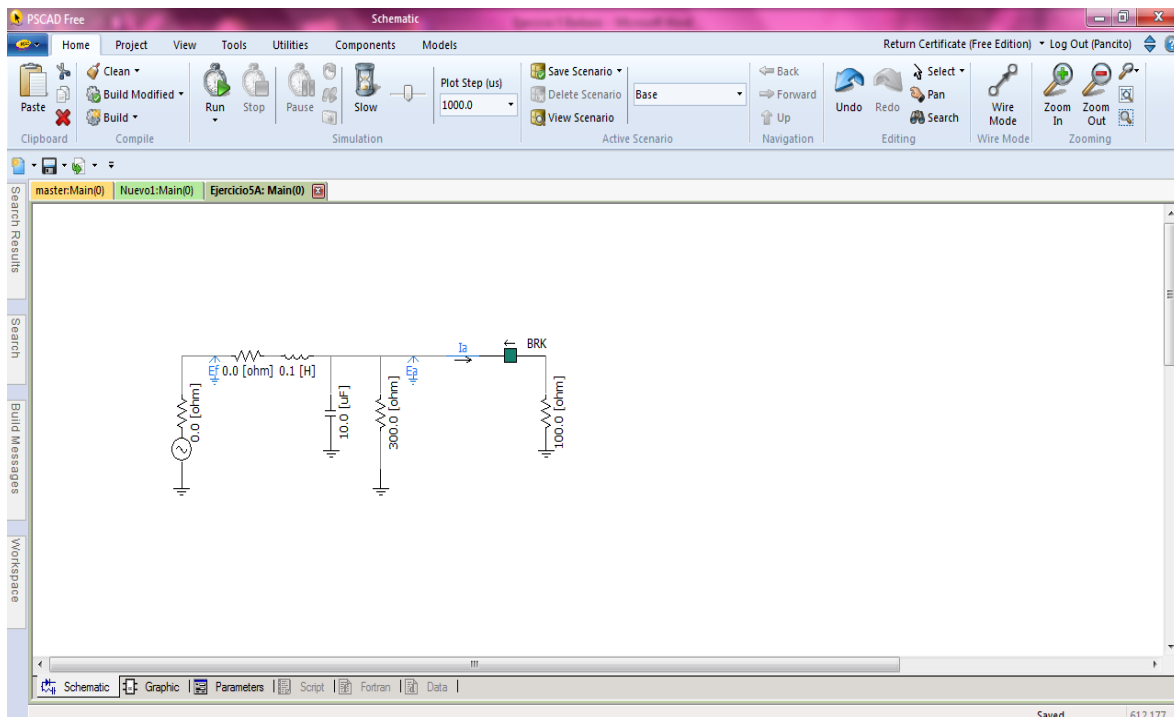
$C_1 = 10 \mu\text{F}$

$R_2 = 300 \Omega$

$R_3 = 100 \Omega$

Breaker monofásico con maniobras de Apertura y Cierre

Lo primero será crear y guardar un archivo en PSCAD según el procedimiento ya conocido. Este archivo se le pondrá el nombre de Ejercicio5. Una vez realizada la operación anterior se comienza a dibujar el circuito con todos sus componentes y a cada uno de ellos se le debe incorporar sus características técnicas. (Ver Figuras 104, 105 y 106)



**Figura 104.** Dibujo del Circuito Eléctrico en el Área de Trabajo de Ejercicio5.

Los valores para la fuente de tensión serán:

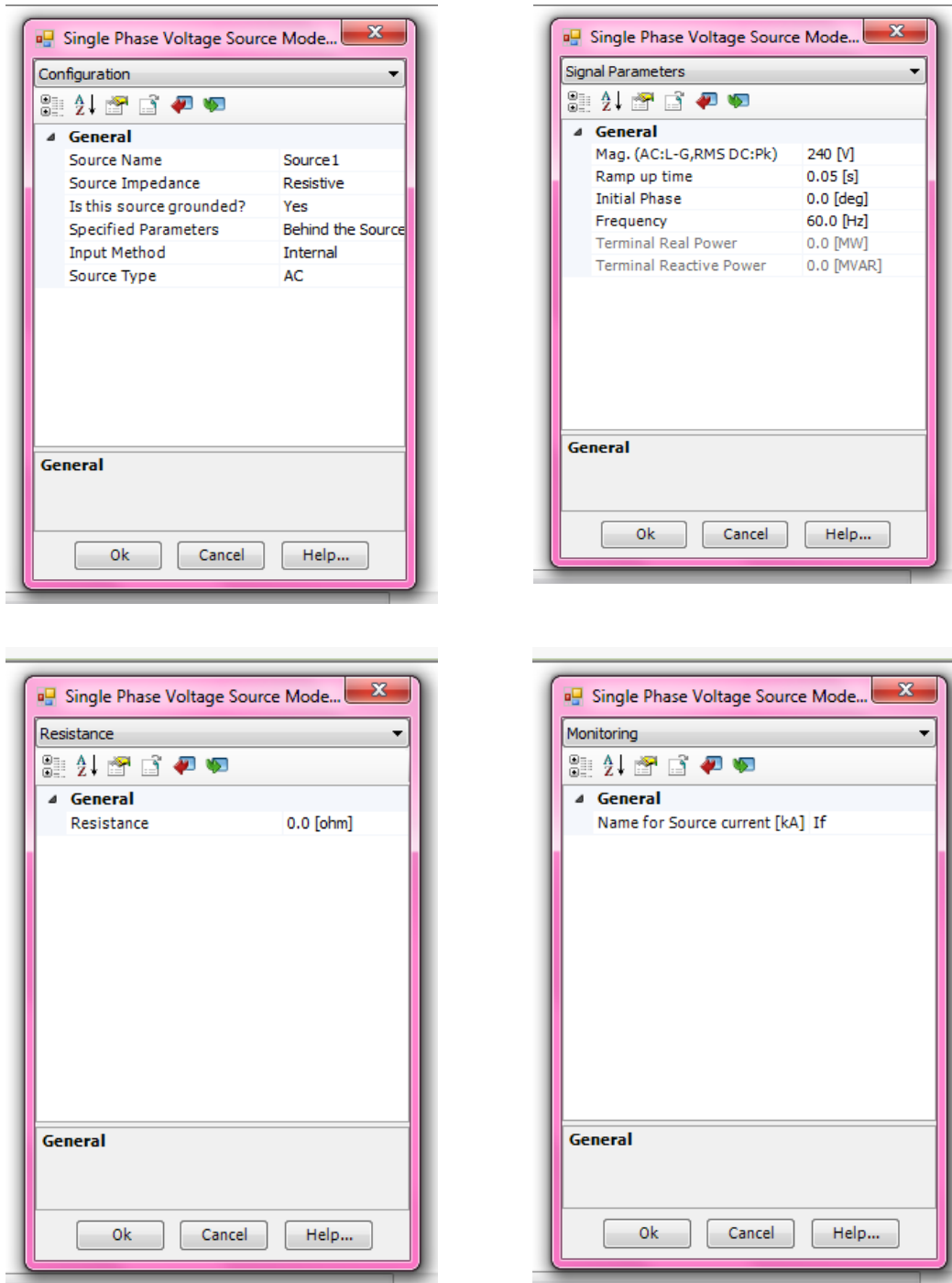
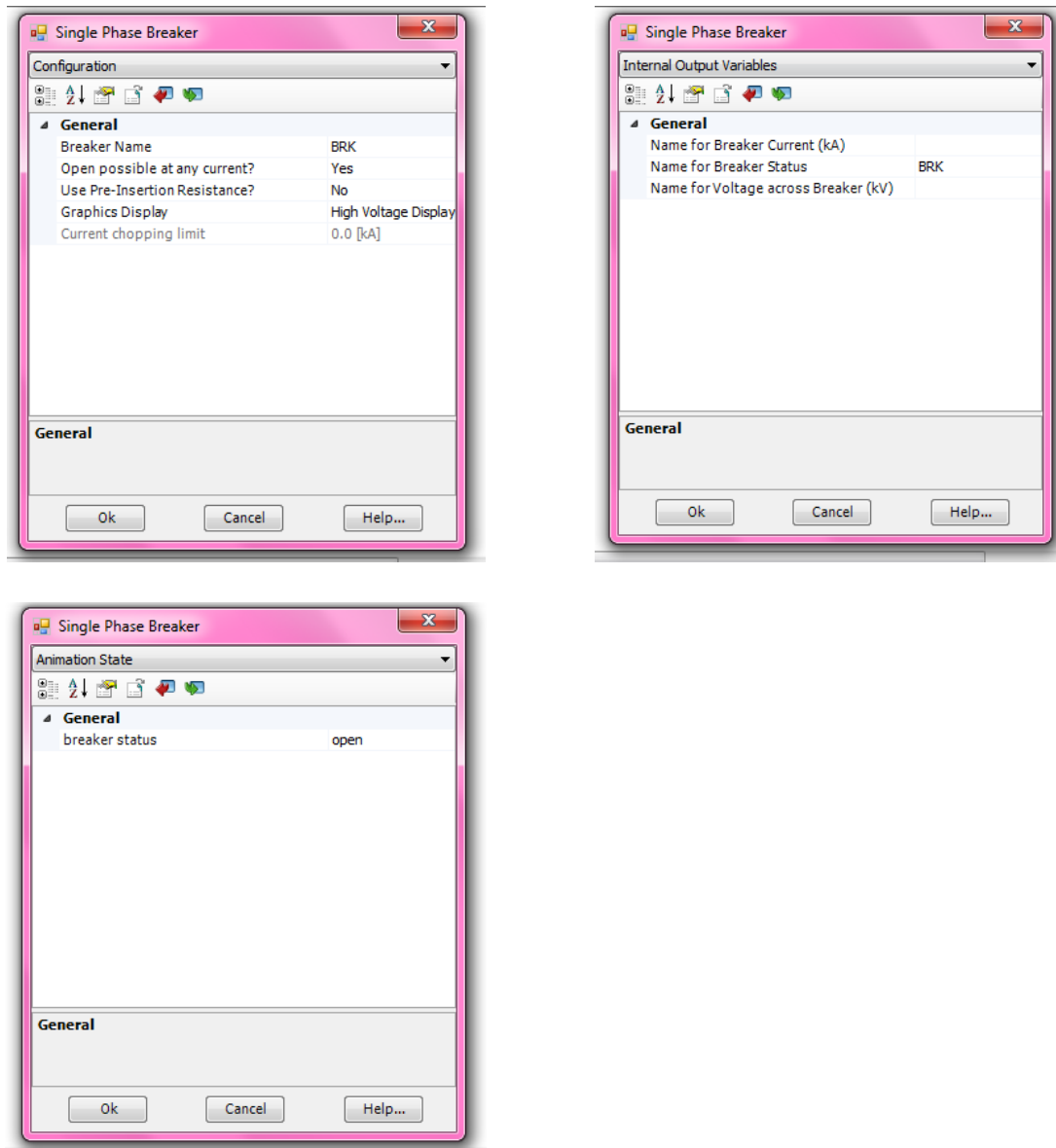


Figura 105. Características Técnicas de la Fuente de Tensión.

Y los valores para el *Breaker* o interruptor son:



**Figura 106.** Características Técnicas del Breaker.

Adicionalmente y de acuerdo con el circuito se incorporan los instrumentos de medición: un amperímetro y dos voltímetros a tierra, también con su información técnica. (Figura 107)

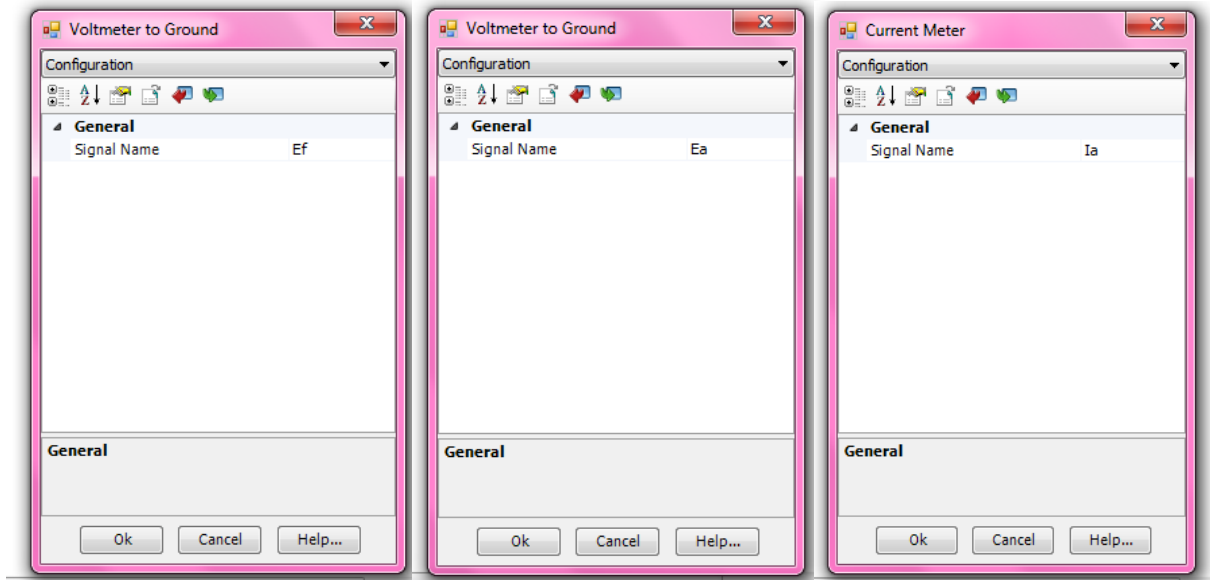


Figura 107. Características Técnicas de los Medidores.

Ahora con la ayuda de Data Label y Output Channel se comienza a preparar las gráficas para la simulación de las variables a representar: Tensión Fuente, Tensión Breaker, Intensidad Fuente e Intensidad Breaker. (Figura 108)

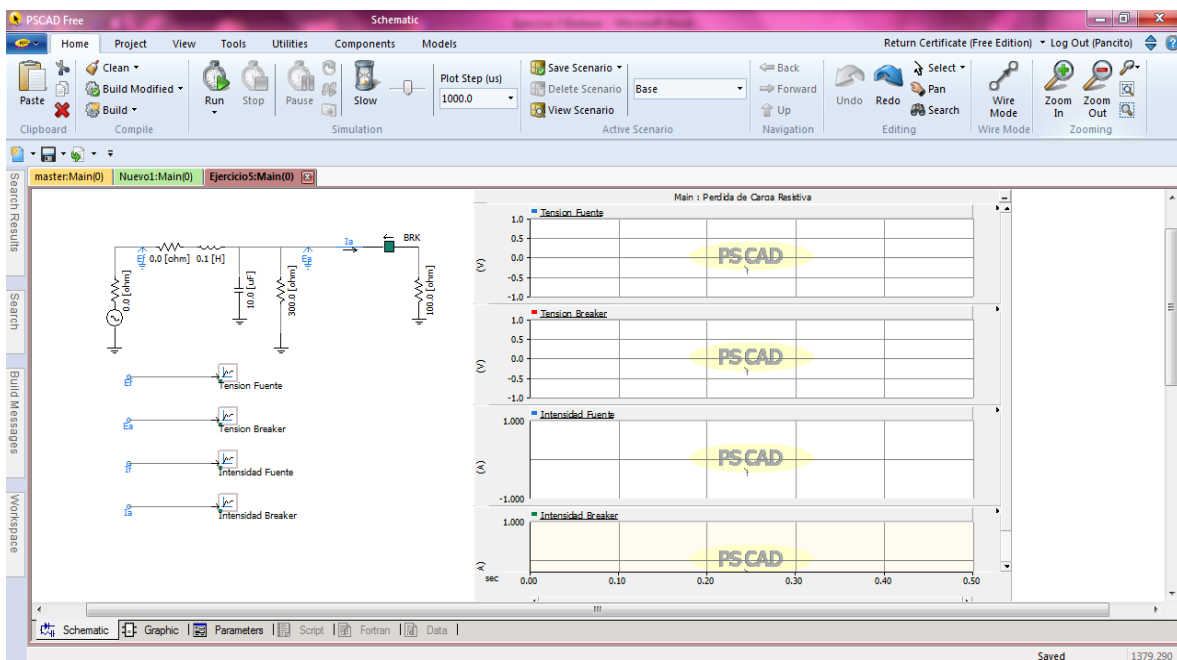


Figura 108. Preparación de Gráficas para el Proceso de Simulación.

Ya preparadas las gráficas se procede con la simulación pulsando sobre RUN.

El análisis de los resultados muestra, que durante las maniobras de apertura y cierre del interruptor, se produce una sobretensión en los valores de la tensión del *breaker* con respecto a la tensión de la fuente en un 1%.

Mientras que la intensidad en el *breaker* disminuye su valor en un 38,80 % con respecto a la intensidad en la fuente. (Figura 109)

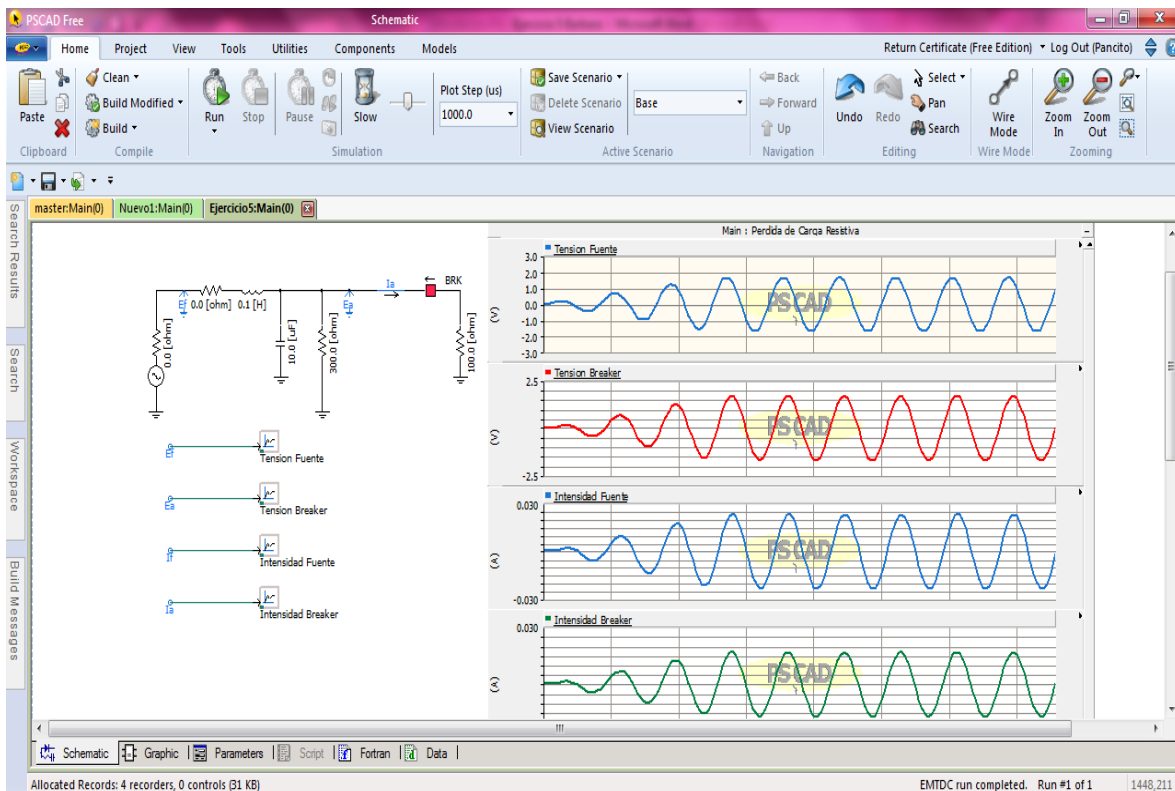


Figura 109. Resultados de la Simulación.

**CONCLUSIONES**

La implementación de videos tutoriales como parte del proceso de aprendizaje se ha convertido en un instrumento de gran utilidad debido a las ventajas que ofrecen. Es por ello que para el presente trabajo se hizo énfasis en el diseño de una herramienta para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos en sistemas de energía eléctrica. Ahora bien, analizando cada uno de los objetivos, se pudieron precisar conclusiones, como:

Con relación al Objetivo No. 1, Evaluar las potencialidades, ventajas y desventajas de programas de simulación de sistemas eléctricos; se compararon tres programas de simulación para el auto aprendizaje sobre el comportamiento de los entornos de transitorios electromagnéticos, escogiéndose el Power System CAD (PSCAD), *software* que permite el diseño, la simulación, el análisis de datos y la presentación gráfica de resultados de sistemas eléctricos, todo ello en un entorno gráfico de manejo sencillo e intuitivo, por lo que dicho programa se puede utilizar también para docencia en asignaturas de diferentes ramas de la Ingeniería.

En cuanto al Objetivo No. 2, Analizar las características de distintos programas de edición de videos con fines educativos, se seleccionó el programa Camtasia Studio, ya que el mismo permite grabar, editar y producir vídeos de forma eficaz, ofreciendo además las aplicaciones necesarias para poder organizar de forma atractiva pero a la vez sencilla, los vídeos y otros archivos.

El Objetivo No. 3, Diseñar el programa para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos haciendo uso del programa de simulación elegido, planteó la elaboración y desarrollo de cinco Ejercicios (Ejercicio1, Ejercicio1A, Ejercicio1B, Ejercicio2, Ejercicio3, Ejercicio4A, Ejercicio4B, y Ejercicio5) como ejemplos de utilización del software PSCAD. Los mismos fueron explicados de manera detallada con la finalidad de dar a conocer a los estudiantes las herramientas que posee el programa de simulación y especificar paso a paso como crear un nuevo proyecto hasta visualizar las gráficas finales de las variables utilizadas. Cabe destacar, que los Ejercicio4A y Ejercicio4B, sirvieron para hacer una comparación entre sí y un análisis de los resultados de ambas simulaciones.



## ***CONCLUSIONES***

Los ejercicios detallados, se realizaron de forma progresiva en orden creciente de dificultad, permitiendo conocer la versatilidad de las aplicaciones y la sencillez de uso de esta herramienta, de modo práctico y didáctico, en un entorno gráfico que facilita al estudiante o educando la comprensión en el manejo del paquete de simulación de entornos de ingeniería Power System CAD.

Finalmente, el Objetivo No. 4, Elaborar el video tutorial para el autoaprendizaje de transitorios electromagnéticos haciendo uso del programa de simulación PSCAD, permitió desarrollar una herramienta educativa audiovisual de manera exitosa. Además queda abierta la opción de emplear este tipo de herramientas de autoaprendizaje a otras asignaturas del Departamento de Ingeniería Eléctrica en las que los educandos tengan la necesidad de adquirir conocimientos sobre el uso de programas de simulación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alonso, M. (2009), Los orígenes del proceso de Bolonia, [En línea]. Madrid: Diario ABC. Disponible en: <http://www.abc.es/20090428/nacional-sociedad/origenes-proceso-bolonia-200904281439.html>
- Burgos, M. (2000). Simulación de Accionamientos Eléctricos. Revista de Enseñanza Universitaria. Disponible en: [http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2000/art\\_29.pdf](http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2000/art_29.pdf)
- Carrillo, C. (2004). Introducción al PSCAD. Universidad de Vigo: Departamento de Enxeñaría Eléctrica de la Universidad de Vigo. Disponible en: [carrillo.webs.uvigo.es/publicaciones/IndroduccionPSCAD.pdf](http://carrillo.webs.uvigo.es/publicaciones/IndroduccionPSCAD.pdf)
- Cuenca, L. (2013). Aparejadores, arquitectos técnicos e ingenieros de la edificación. Una aproximación histórica a sus responsabilidades. Madrid: Editorial Dykinson, S.L.
- Declaración conjunta de los Ministros Europeos de Educación reunidos en Bolonia el 19 de junio de 1999. (1999, 19 de junio), [En línea]. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Disponible en: [https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6948/Declaracion\\_bolonia.pdf](https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6948/Declaracion_bolonia.pdf)
- FACEyT. (2015). Introducción a Simulink [En línea]. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/aycp/wp-content/uploads/sites/88/2015/03/Intro-a-Simulink.pdf>
- Fernández, H. (2015). Simulación de Circuitos, Convertidores y Aplicaciones con PSCAD. Universidad Politécnica Antonio José de Sucre, UNEXPO. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283421181\\_Simulacion\\_de\\_circuitos\\_con vertidores\\_y\\_aplicaciones\\_con\\_PSCAD](https://www.researchgate.net/publication/283421181_Simulacion_de_circuitos_con_vertidores_y_aplicaciones_con_PSCAD)
- Huanacuni, R. (2015). Matlab [En línea]. Disponible en: <http://richardhuanacuni.blogspot.com/2015/12/matlab.html>
- Palarea, M. y Torres, A. (2005). Antecedentes de la reforma del sistema de educación superior europeo. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado. Nº 8(1). pp. 1-4.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Palomo, R., Ruiz, J. y Sánchez, J. (2006). Las TIC como agentes de innovación educativa. Andalucía: Consejería de educación de la Junta de Andalucía.

Portafolio. (s. f.). Software para simulación de sistemas. Introducción [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/portafoliopupposps/introduccion>

Tapia, L., y Álvarez, R. (2017). El uso del video tutorial como una alternativa didáctica en el aprendizaje de química. Revista Electrónica. Ejemplar 16. Enero – junio. pp. 1-6.

Universidad Nebrija. (2017). Espacio europeo de educación superior, [En línea]. Madrid: Universidad Nebrija. Disponible en: [http://www.nebrija.com/la\\_universidad/presentacion/ees.php](http://www.nebrija.com/la_universidad/presentacion/ees.php)

Universidad de Salamanca. (2016). Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, [En línea]. Salamanca: Universidad de Salamanca. Disponible en: <http://www.usal.es/node/41827>

Universidad de Valladolid. (2005). El proceso de Bolonia en profundidad, [En línea]. Valladolid: Universidad de Valladolid. Disponible en: [http://www3.udg.edu/ugt/el\\_proceso\\_de\\_bolonia\\_en\\_profundidad.pdf](http://www3.udg.edu/ugt/el_proceso_de_bolonia_en_profundidad.pdf)

[www. Camtasia Player.com](http://www.CamtasiaPlayer.com)

[www.matlab.com](http://www.matlab.com)

[www. Pscad.com](http://www.Pscad.com)

# ANEXOS