

**DESARROLLO DE UN ESQUEMA DE PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO APOYADAS EN EL USO DEL SOFTWARE  
DE SIMULACIÓN PLECS PARA LA ASIGNATURA  
ELECTRÓNICA DE POTENCIA**

**DUVAN YEFFREY TRUJILLO MENDEZ  
JUAN DIEGO DUARTE CARRASCAL**

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2020

**DESARROLLO DE UN ESQUEMA DE PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO APOYADAS EN EL USO DEL SOFTWARE  
DE SIMULACIÓN PLECS PARA LA ASIGNATURA  
ELECTRÓNICA DE POTENCIA**

**DUVAN YEFFREY TRUJILLO MENDEZ  
JUAN DIEGO DUARTE CARRASCAL**

Trabajo de grado presentado para optar al título de:

**Ingeniero Electricista**

Director

Javier Enrique Solano Martínez

Ingeniero Electricista, PhD

Codirectora

Maria Alejandra Mantilla Villalobos

Ingeniera Electrónica, PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2020

# Agradecimientos

A mis padres, que a lo largo de mi vida han sido el mejor ejemplo de constancia, disciplina y gratitud y a mis hermanos, que me han mostrado por dónde es mejor andar.

**Juan Diego Duarte Carrascal**

A mis padres y a mi familia por el apoyo incondicional, a mi hijo Thomas por ser mi motivación, a mis profesores que a lo largo de esta carrera compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias y a todos quienes de una u otra forma hicieron parte de este proceso.

**Duvan Yeffrey Trujillo Mendez**

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>8</b>
1.1. Objetivos del trabajo de grado . . . . .	8
1.2. Descripción general del documento . . . . .	9
<b>2. Introducción a </b>	<b>10</b>
2.0.1. Dominios físicos en  . . . . .	10
2.0.2. RT Box de  . . . . .	11
<b>3. Topologías básicas de los convertidores electrónicos de potencia</b>	<b>12</b>
<b>4. Esquema de practicas de simulación de convertidores electrónicos en </b>	<b>14</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>16</b>

# Anexos

- Anexo A: Libro Guía.
- Anexo B: Practicas
- Anexo C: Videotutoriales.
- Anexo D: Simulaciones en PLECS.

Estos anexos reposan en la base de datos de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander.

# Resumen

## **TÍTULO:**

**DESARROLLO DE UN ESQUEMA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO APOYADAS EN EL USO DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN PLECS PARA LA ASIGNATURA ELECTRÓNICA DE POTENCIA\***

**AUTORES:** DUVAN TRUJILLO MENDEZ, JUAN DIEGO DUARTE CARRASCAL \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Convertidores electrónicos de potencia, PLECS, simulación, disipación de calor, pérdidas térmicas.

## **DESCRIPCIÓN:**

La simulación de los convertidores electrónicos de potencia facilita su análisis y permite la efectiva selección de componentes. Actualmente, la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, cuenta con una licencia donada por Plexim GmbH para hacer uso del software PLECS. Teniendo esto en cuenta, surge la necesidad de desarrollar una estrategia que posibilite a los estudiantes de dicha asignatura acelerar la curva de aprendizaje y aprovechar el potencial del software durante el desarrollo de la materia.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo de grado es implementar un esquema de prácticas de simulación para apoyar el componente de laboratorio de la asignatura Electrónica de Potencia (Código de asignatura: 23361), soportado en la utilización del software PLECS. Inicialmente se identifican los componentes en PLECS para simular circuitos electrónicos de potencia en el dominio eléctrico, seguido de la identificación de las herramientas para incluir, en las simulaciones, los efectos térmicos que permitan estimar los ciclos de temperatura y las pérdidas por conmutación y conducción de los dispositivos semiconductores, a partir de la información característica proporcionada en las hojas de datos por sus respectivos fabricantes. Se presenta una guía para la comprensión de los conceptos y el manejo básico de las herramientas del dominio térmico en PLECS, junto con videotutoriales para dar los primeros pasos en el uso del software. Posteriormente se presenta un esquema de practicas que incluyen topologías básicas de convertidores AC-DC, AC-AC, DC-DC Y DC-AC, con su respectiva implementación en el software PLECS.

El desarrollo de este trabajo permite comprender la necesidad de incluir, en el estudio de la asignatura, el análisis de los efectos térmicos y la importancia de los disipadores de calor para considerar las restricciones en la capacidad nominal de los dispositivos electrónicos.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.  
Director: Javier Enrique Solano Martínez, PhD. Codirectora: Maria Alejandra Mantilla Villalobos, PhD.

# Abstract

**TITLE:**

**DEVELOPMENT OF A SCHEME OF LABORATORY PRACTICES SUPPORTED IN THE USE OF THE PLECS SIMULATION SOFTWARE FOR THE ELECTRONIC POWER SUBJECT\***

**AUTHORS:** DUVAN TRUJILLO MENDEZ, JUAN DIEGO DUARTE CARRASCAL \*\*

**KEYWORDS:** Power electronic converters, PLECS, simulation, heat dissipation, thermal losses.

**DESCRIPTION:**

The simulation of electronic power converters facilitates their analysis and allows the effective selection of components. Currently, the School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering of the Industrial University of Santander, has a license donated by Plexim GmbH to make use of the PLECS software. Taking this into account, the need arises to develop a strategy that enables the students of this subject to accelerate the learning curve and take advantage of the potential of the software during the development of the subject.

Consequently, the objective of this degree work is to implement a simulation practice scheme to support the laboratory component of the Power Electronics subject (Subject code: 23361), supported by the use of PLECS software. Initially, the components are identified in PLECS to simulate power electronic circuits in the electrical domain, followed by the identification of the tools to include, in the simulations, the thermal effects that allow estimating the temperature cycles and the losses due to switching and conduction of semiconductor devices, based on the characteristic information provided in the data sheets by their respective manufacturers. A guide is presented to understand the concepts and basic handling of the thermal domain tools in PLECS, along with video tutorials to take the first steps in using the software. Subsequently, a diagram of practices is presented that includes basic topologies of AC-DC, AC-AC, DC-DC and DC-AC converters, with their respective implementation in the PLECS software.

The development of this work allows us to understand the need to include, in the study of the subject, the analysis of thermal effects and the importance of heat sinks to consider the restrictions in the nominal capacity of electronic devices.

---

\*Bachelor Thesis

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Advisor: Javier Enrique Solano Martínez, PhD. Co-advisor: Maria Alejandra Mantilla Villalobos, PhD.

# Capítulo 1

## Introducción

Hoy en día en la industria se encuentran un gran número de aplicaciones las cuales requieren la utilización de circuitos basados en dispositivos de estado sólido, dedicados al control y a la conversión de la energía eléctrica. Estos circuitos eléctricos son conocidos con el nombre de convertidores de potencia y son justamente el objeto de estudio de la asignatura electrónica de potencia<sup>1</sup>. Una parte de la estrategia de enseñanza y aprendizaje consiste en simular en software especializados, diferentes convertidores de potencia y verificar de su funcionamiento mediante la comparación con datos teóricos y/o experimentales.

Existen diferentes software que permiten simular circuitos electrónicos de potencia. Por ejemplo, Simulink, PSIM, PLECS, Multisim, entre otros. Actualmente, la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, cuenta con una licencia donada por la empresa Plexim GmbH para hacer uso del software de simulación PLECS. En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar un esquema de practicas de laboratorio apoyadas el uso del software de simulación PLECS como herramienta para apoyar el proceso de asimilación de los conceptos y comprensión del comportamiento básico de los circuitos electrónicos de potencia.

En este trabajo de grado se propone un esquema de prácticas de simulación para apoyar el componente de laboratorio de la asignatura electrónica de potencia soportado en la utilización del software de simulación PLECS, que conducen al lector a visitar paginas oficiales de fabricantes de dispositivos semiconductores, a fin de seleccionar los elementos adecuados para cada aplicación en particular y garantizar la disponibilidad en el mercado, lo que facilita el acceso a las hojas de datos de los dispositivos las cuales proporcionan la información necesaria para hacer simulaciones que permitan analizar el comportamiento de las variables eléctricas y calcular los parámetros de rendimiento de los circuitos, estimar la eficiencia de los convertidores, las temperaturas de los componentes y las formas de onda del ciclo de temperatura, así como determinar valores de resistencias térmicas de los elementos que facilitan la eliminación de calor.

### 1.1. Objetivos del trabajo de grado

El objetivo general de este trabajo de grado es implementar un esquema de prácticas de simulación para apoyar el componente de laboratorio de la asignatura electrónica de potencia (23361) soportado en la utilización del software de simulación PLECS.

Para ello se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar las topologías básicas de convertidores de potencia contenidas en el programa de la asignatura electrónica de potencia (23361).
2. Identificar y utilizar las principales herramientas disponibles en el software de simulación PLECS para simular las topologías básicas de convertidores de potencia.
3. Elaborar contenido digital (tutoriales) como guía para la instalación y utilización del software de simulación PLECS

---

<sup>1</sup>PETIT SUAREZ, Johann Farith, *et al.* Anexo I : Contenido asignaturas programa de ingeniería eléctrica. Renovación del Registro calificado del programa Ingeniería Eléctrica, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014, p 122-125.

4. Elaborar guías de simulación que complementen el componente de laboratorio de la asignatura electrónica de potencia (23361) conforme con su contenido y metodología.

## 1.2. Descripción general del documento

Este documento está organizado en 5 capítulos y 4 anexos, siendo este el Capítulo 1 donde se ha presentado una visión general de este trabajo de grado. A continuación se describen los capítulos siguientes:



- **Capítulo 2:** Se presenta una introducción al software de simulación **PLEGS** desarrollado por la empresa Plexim GmbH, una descripción general de los componentes que cubren los aspectos eléctricos, magnéticos, térmicos y mecánicos de los sistemas de conversión de energía y sus controles. Haciendo énfasis en el dominio térmico como herramienta para estimar las pérdidas de potencia por efectos de conmutación y conducción de los dispositivos semiconductores de potencia.
- **Capítulo 3:** Se presenta un esquema con las topologías básicas de los convertidores electrónicos de potencia.
- **Capítulo 4:** Se presenta un esquema con las prácticas de simulación de circuitos electrónicos de potencia, propuestas como material de apoyo para desarrollo del componente práctico de la asignatura electrónica de potencia.
- **Capítulo 5:** Conclusiones y observaciones.
- **Anexos:** Este documento contiene cuatro anexos organizados como sigue:
  - Anexo A: Instrucciones básicas para el uso de **PLEGS** y creación de modelos térmicos
  - Anexo B: Prácticas de simulación de convertidores electrónicos de potencia en **PLEGS**
  - Anexo C: Videotutoriales:
    - Introducción a **PLEGS**
    - Descarga e instalación de **PLEGS** standalone
    - Herramientas básicas en **PLEGS**
  - Anexo D: Archivos de simulación y modelos térmicos creados por los autores para el desarrollo de las prácticas propuestas

## Capítulo 2

# Introducción a

PLECS es un software de simulación rápida para circuitos electrónicos de potencia, es una caja de herramientas para la simulación rápida de circuitos electrónicos de potencia bajo el entorno Simulink, está basado en una formulación de espacio de estados para circuitos que constan de elementos lineales (RLC), transformadores, fuentes, medidores e interruptores ideales<sup>2</sup>. En el año 2002, estudiantes de doctorado de ETH Zürich (Escuela Politécnica Federal de Zúrich), crean bajo la modalidad de empresa de base tecnología (Spin-off), la empresa Plexim GmbH, cuya actividad principal es el desarrollo y comercialización del software de simulación PLECS.

Plexim GmbH inicialmente fue alojada por el Laboratorio de Sistemas de Energía en el Departamento de Tecnología de la Información e Ingeniería Eléctrica de ETH Zürich. En febrero de 2005, la sede se trasladó al Technopark Zürich para acomodarse al crecimiento de la compañía. En abril de 2009, Plexim abre una oficina en Cambridge, Massachusetts, para proporcionar soporte técnico directo a clientes norteamericanos. Actualmente, el software está disponible en dos versiones PLECS Blockset y PLECS Standalone.

- ** Blockset** es una herramienta única para la simulación rápida de circuitos electrónicos de potencia dentro del entorno Simulink. Permite simulaciones combinadas de circuitos eléctricos modelados en PLECS con controles modelados en Simulink, los usuarios de PLECS Blockset pueden aprovechar toda la biblioteca Simulink y las diversas extensiones para modelar controles especiales u otros dominios físicos
- ** Standalone** es un paquete de software autónomo para la simulación en el dominio del tiempo de sistemas electrónicos de potencia. PLECS Standalone proporciona la solución todo en uno para modelar circuitos eléctricos complejos y controles sofisticados en un solo entorno. Debido a su motor optimizado, PLECS Standalone funciona mucho más rápido que PLECS Blockset. La completa biblioteca de bloques de PLECS Standalone ofrece una solución rentable y potente para la simulación dinámica de sistemas en general.

En este trabajo de grado se emplea PLECS Standalone para la simulación y análisis de circuitos.

### 2.0.1. Dominios físicos en

PLECS tiene bibliotecas que permiten simular sistemas en múltiples dominios físicos; sin embargo, en este trabajo de grado se supone que el lector está relacionado con la simulación de sistemas en el dominio eléctrico, ya sea en PLECS o en algún otro software; por tanto, se utiliza sin hacer énfasis en este. En la sección 2.1 del manual de uso de PLECS se hace una breve introducción al dominio térmico para utilizarlo en la estimación

---

<sup>2</sup>ALIMELING, J. H y HAMMER, W. P. PLECS-piece-wise linear electrical circuit simulation for Simulink, Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems. Hong Kong:PEDS'99 (Cat. No.99TH8475), 1999, pp. 355-360 vol.1.

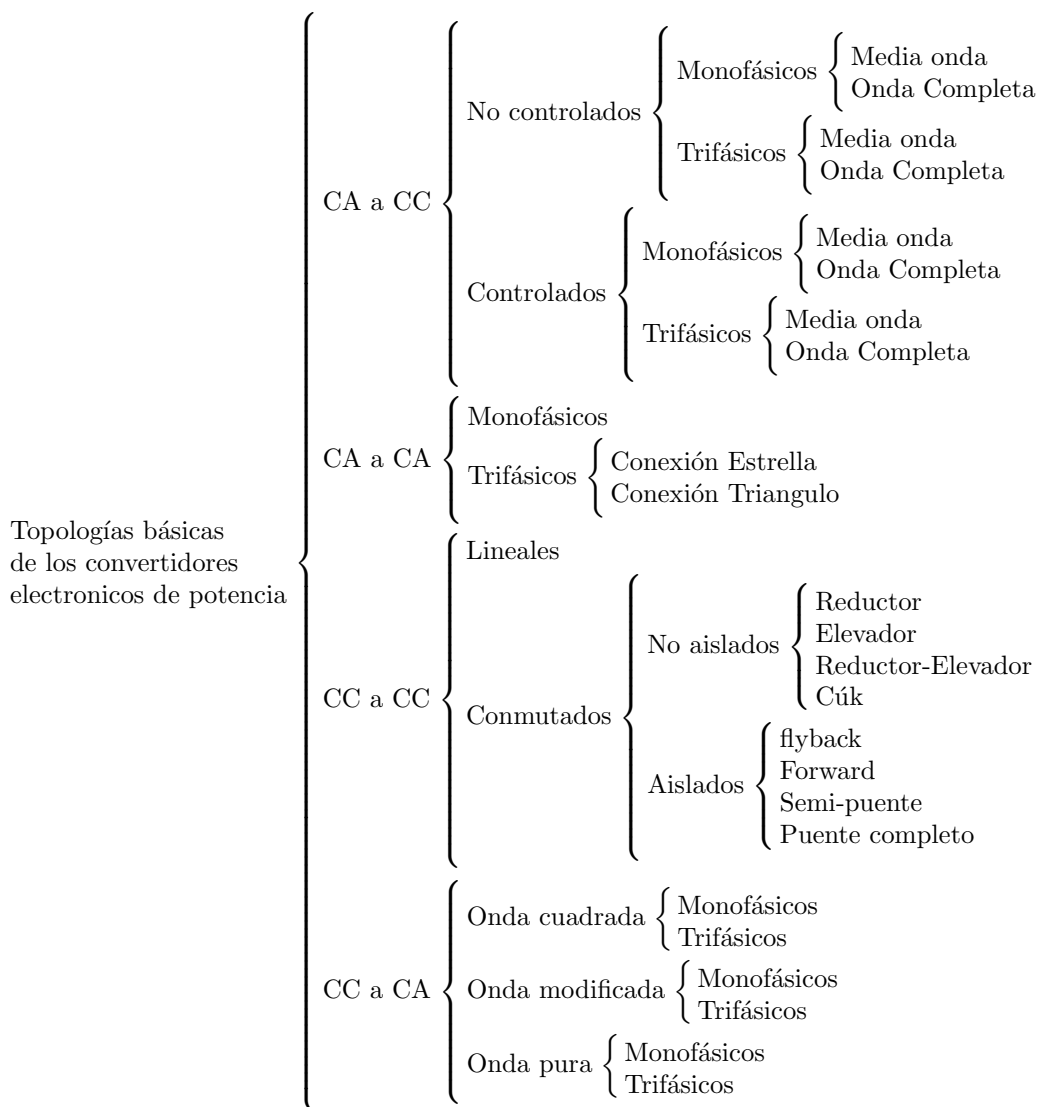
de las pérdidas por conducción y conmutación. Los dos dominios restantes (magnético y mecánico) no son parte del alcance de este trabajo.

### 2.0.2. RT Box de

El RT Box es un simulador en tiempo real especialmente diseñado para aplicaciones de electrónica de potencia, está basado en el uso de FPGAs de la marca Xilinx de la familia Zynq. Posee numerosos puertos de entrada y salida analógicos y digitales que permiten hacer simulaciones de tipo hardware-in-the-loop (HIL) para el prototipado rápido de sistemas de control. Este apartado es únicamente de carácter informativo ya que en el desarrollo de este trabajo no se hace énfasis en el uso de este simulador.

## Capítulo 3

# Topologías básicas de los convertidores electrónicos de potencia



Los convertidores electrónicos de conforme con el tipo de conversión de energía eléctrica<sup>3 4</sup>, así:

- **Rectificadores CA a CC:** Convierten las forma de onda de la tensión de alterna a continua, el flujo de potencia va de la fuente de alterna a la carga de continua.
- **Convertidor CA a CA:** Cambia la amplitud o frecuencia de una señal de alterna.
- **Convertidor CC a CC:** Convierten las forma de onda de la tensión de un nivel de tensión continua a otro nivel de tensión también continua.
- **Inversor CC a CA:** Convierten las forma de onda de la tensión continua a alterna, la potencia fluye de la fuente de continua a la carga de alterna.

---


<sup>3</sup>GRAHAME, David y LIPO, Thomas. Pulse Width Modulation for Power converter: Principles and Practice. (IEEE Press), WileyEditor: John Wiley & Sons. 2003, pp. 1-3.

<sup>4</sup>HART, Daniel. Electrónica de potencia, Madrid, España: Pearson education S.A, 2001.

## Capítulo 4

# Esquema de practicas de simulación de convertidores electrónicos en

A continuación, se presenta de manera resumida el esquema de practicas de simulación propuesto por los autores para apoyar el componente de laboratorio de la asignatura electrónica de potencia, las guías para el estudiante se presentan en el Anexo B y la implementación de los circuitos propuestos en las guías en el anexo C, en formato ejecutable para PLECS.

Esquema de practicas de simulación de convertidores electronicos en 	CA a CC	Práctica 1.1: Simulación del rectificador monofásico en puente completo
		Práctica 1.2: Rectificadores trifásicos de media onda y onda completa con carga resistiva
		Practica 1.3: Simulación del rectificador monofásico de onda completa con carga RLE
		Practica 1.4: Rectificadores monofásicos con filtros capacitivos
		Practica 1.5: Simulación de rectificadores trifásicos y multiplicadores de tensión
		Practica 1.6: Simulación de un rectificador controlado monofásico de media onda
		Practica 1.7: Simulación de un rectificador trifásico controlado de onda completa
	CA a CA	Práctica 2.1: Simulación del control de fase bidireccional y convertidor CA-CA trifásico
	CC a CC	Práctica 3.1: Convertidor reductor (Buck converter)
		Práctica 3.2: Convertidor reductor-elevador (Buck-boost)
	CC a CA	Práctica 4.1: Modulación por ancho de pulsos
		Práctica 4.2: Inversor monofásico
		Práctica 4.3: Inversor trifásico

# Conclusiones

- El software de simulación PLECS es una herramienta útil para facilitar la comprensión de los conceptos básicos de los convertidores electrónicos de potencia
- Incluir en el estudio de los convertidores electrónicos de potencia un análisis del comportamiento térmico de los dispositivos semiconductores complementa las habilidades de diseño de dichos circuitos y facilita la correcta selección de los elementos eléctricos y disipadores de calor

# Bibliografía

- [1] PETIT SUAREZ, Johann Farith, *et al.* Anexo I : Contenido asignaturas programa de ingeniería eléctrica. Renovación del Registro calificado del programa Ingeniería Eléctrica, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014, p 122-125.
- [2] ALIMELING, J. H y HAMMER, W. P. PLECS-piece-wise linear electrical circuit simulation for Simulink, Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems. Hong Kong: PEDS'99 (Cat. No.99TH8475), 1999, pp. 355-360 vol.1.
- [3] GRAHAME, David y LIPO, Thomas. Pulse Width Modulation for Power converter: Principles and Practice. (IEEE Press), WileyEditor: John Wiley & Sons. 2003, pp. 1-3.
- [4] HART, Daniel. Electrónica de potencia, Madrid, España: Pearson education S.A, 2001.