



# CIENERGIA UG

Congreso Internacional de Energía UG

**2023** | 27, 28, 29  
SEPTIEMBRE

# Implementación de Modulador para Inversor de Fuente de Corriente

Francisco Javier Moreno Vazquez, Dr. Gustavo Cerda Villafaña

División de Ingenierías, Campus Irapuato –  
Salamanca, Universidad de Guanajuato

# AGENDA

- **1** **INTRODUCCIÓN**
- **2** **COMPARATIVA**
- **3** **IMPLEMENTACIÓN**
- **4** **RESULTADOS**
- **5** **TRABAJO  
FUTURO**





**CIENERGIA UG**

Congreso Internacional de Energía UG

**2023**

# INTRODUCCIÓN

# IMPORTANCIA DE LOS INVERSORES

En los últimos años, los inversores han adquirido una creciente importancia en el campo de la energía debido a la creciente adopción de fuentes de energía renovables en todo el mundo. Con el aumento de la conciencia sobre el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las energías renovables, como la energía solar, han experimentado una rápida expansión en la matriz energética. Los inversores, como elementos cruciales en los sistemas de conversión de energía, juegan un papel fundamental al facilitar la integración eficiente y segura de estas fuentes limpias y sostenibles en las redes eléctricas existentes.

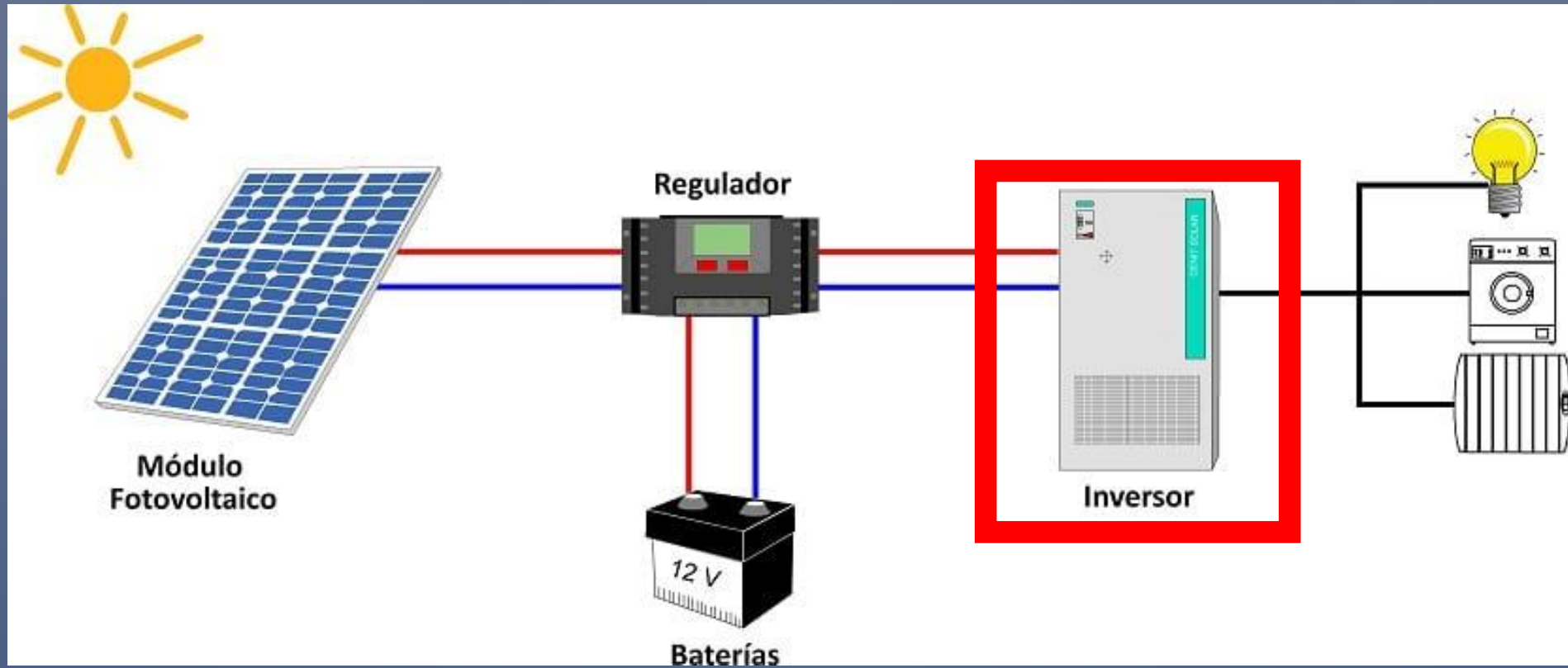
En términos simples, los inversores son dispositivos electrónicos que convierten la corriente continua (CC), típicamente generada por fuentes como paneles solares o baterías, en corriente alterna (CA), que es la forma de energía utilizada en la mayoría de las aplicaciones eléctricas y en nuestras casas. Esto es esencial porque la mayoría de las redes eléctricas y dispositivos están diseñados para funcionar con corriente alterna.

La optimización de la conversión de energía de corriente continua a corriente alterna es esencial para lograr una integración armoniosa de fuentes de energía renovable en las redes eléctricas y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

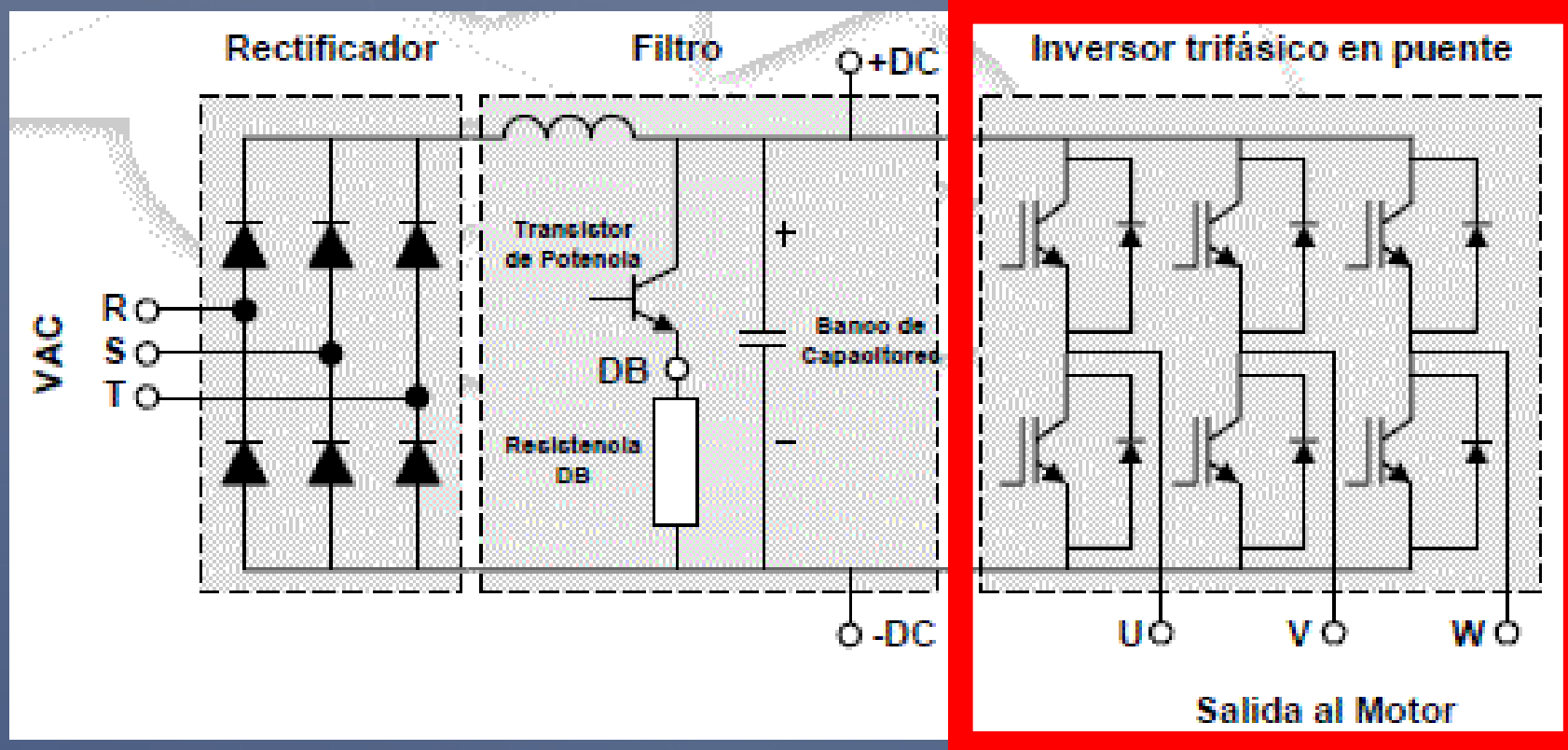


**CIENERGIA UG**  
Congreso Internacional de Energía UG  
**2023**

# APLICACIÓN DE UN INVERSOR



# VARIADOR DE FRECUENCIA





**CIENERGIA UG**

Congreso Internacional de Energía UG

**2023**

# COMPARATIVA



# CONTROL SPWM

La Modulación Sinusoidal por Ancho de Pulso (SPWM) es una técnica utilizada en inversores para controlar la tensión de salida de manera que se asemeje a una señal sinusoidal. Esto es esencial porque la mayoría de los dispositivos eléctricos y sistemas están diseñados para funcionar con corriente alterna (CA) sinusoidal. La SPWM logra este objetivo variando el ancho de los pulsos de la señal de salida del inversor.

La idea detrás de la SPWM es comparar una señal de referencia sinusoidal (la deseada) con una señal triangular generada internamente. La diferencia entre estas dos señales se utiliza para controlar la duración (ancho) de los pulsos en la señal de salida. Cuando la señal de referencia es igual a la señal triangular, se obtiene un pulso de ancho máximo, y cuando la señal de referencia es cero, el pulso se apaga. De esta manera, se generan pulsos que imitan una onda sinusoidal.

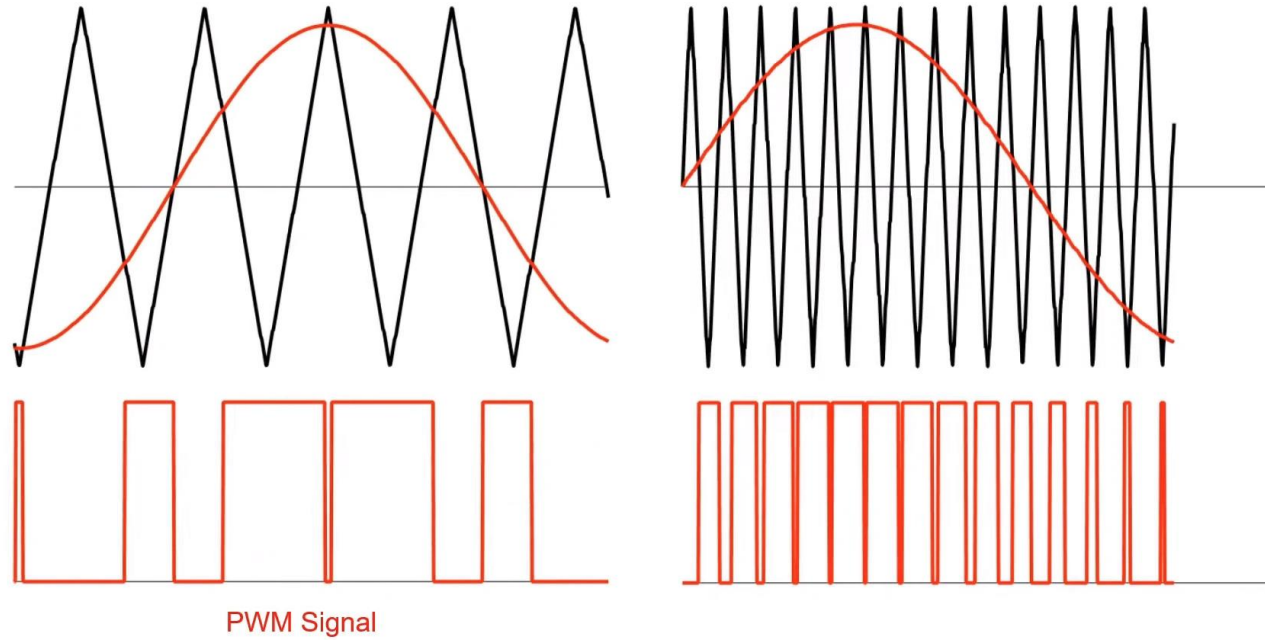


# VISUALIZACIÓN SPWM

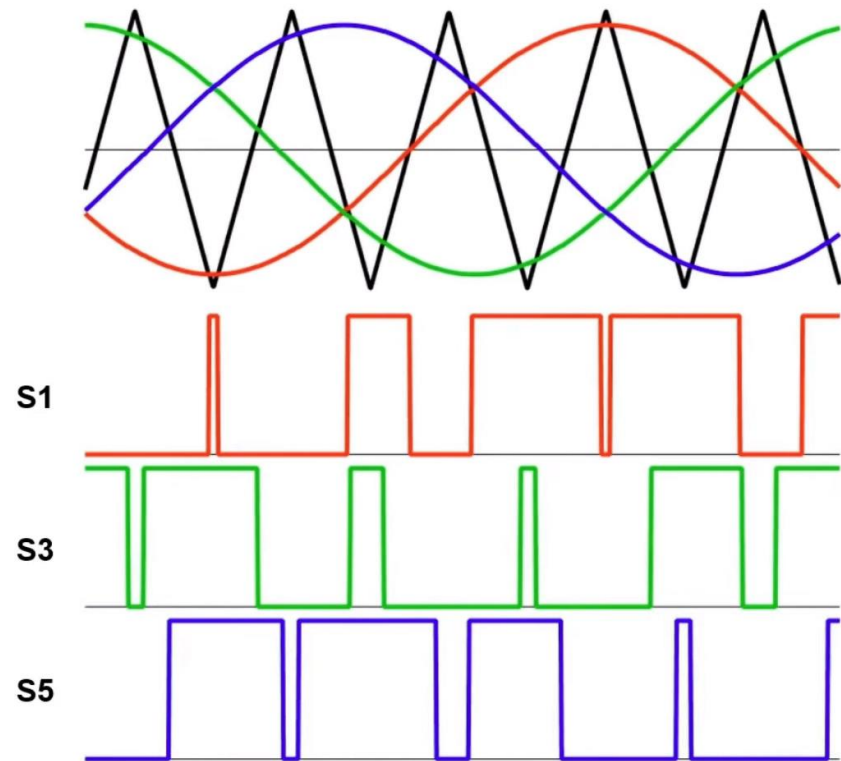
Pulse-Width Modulation (PWM) : Single-Phase

MathWorks

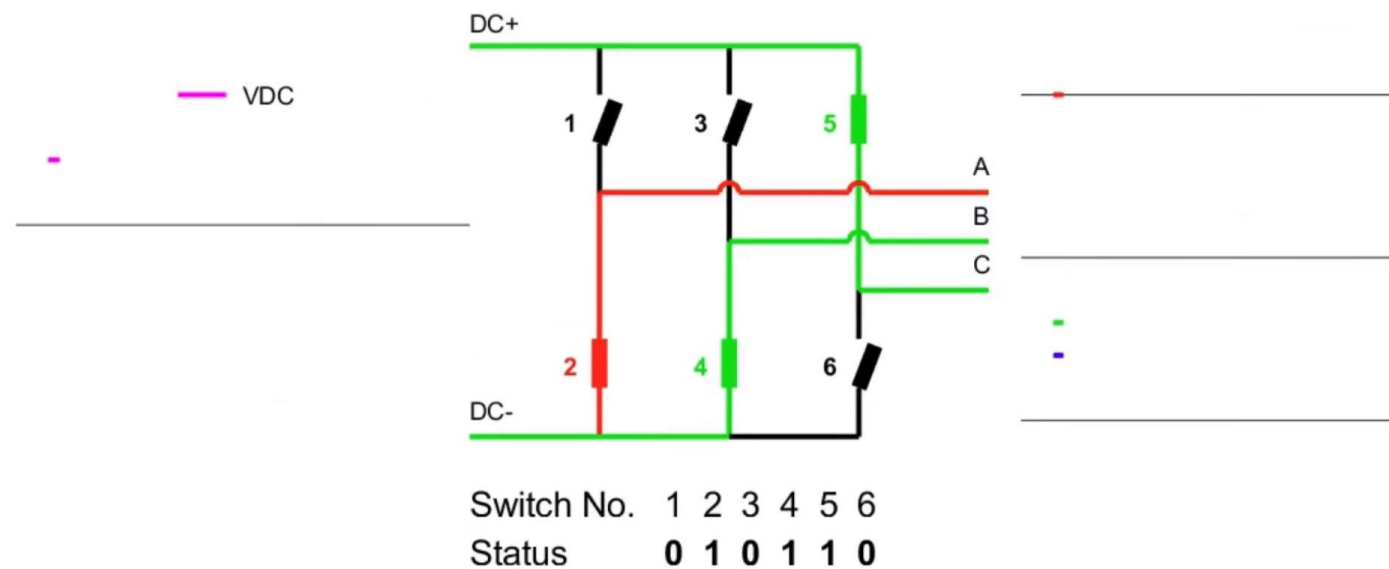
— Carrier wave  
— Modulation wave



# VISUALIZACIÓN SPWM



# VISUALIZACIÓN SPWM





# CONTROL SVM

La Modulación por Vector Espacial (SVM) es otra técnica de modulación utilizada en inversores para controlar la tensión de salida. A diferencia de la SPWM, que se enfoca en imitar una forma de onda sinusoidal, la SVM opera en el dominio del espacio vectorial y se utiliza principalmente en inversores trifásicos.

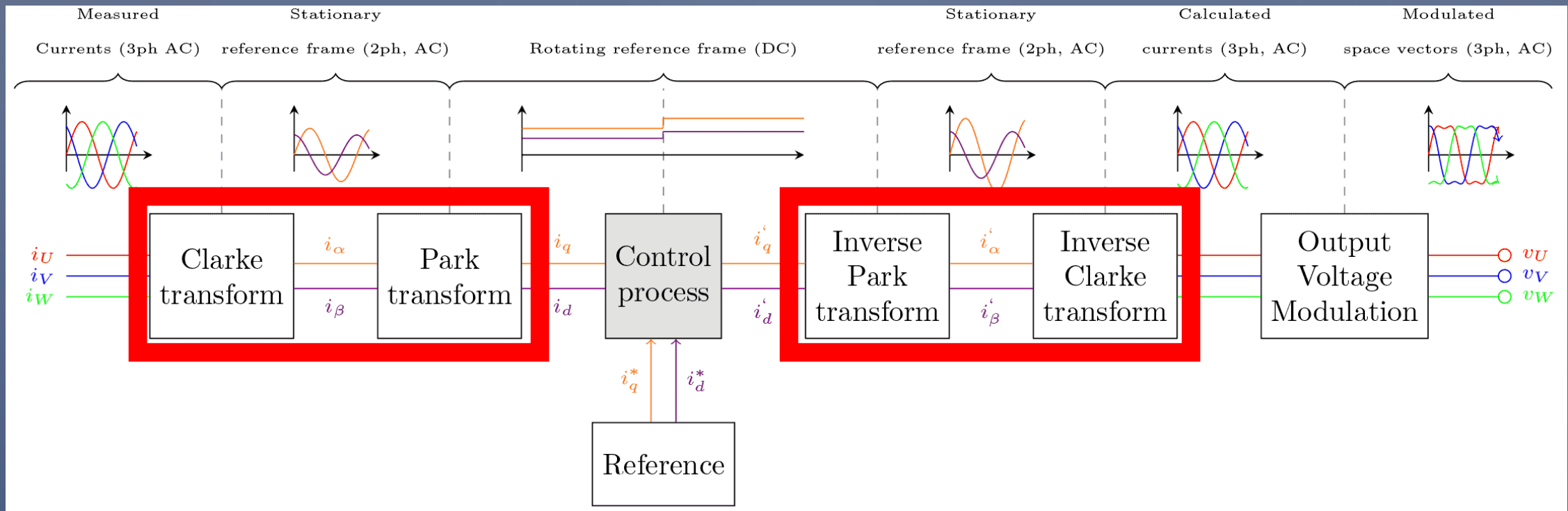
En la SVM, se representa la tensión de salida del inversor como un vector en un espacio vectorial tridimensional. El objetivo es controlar la magnitud y la dirección de este vector de salida para obtener la tensión deseada.

La técnica SVM divide el espacio vectorial en sectores o sextantes y determina qué interruptores del inversor deben estar activados en cada sector para obtener la tensión deseada.

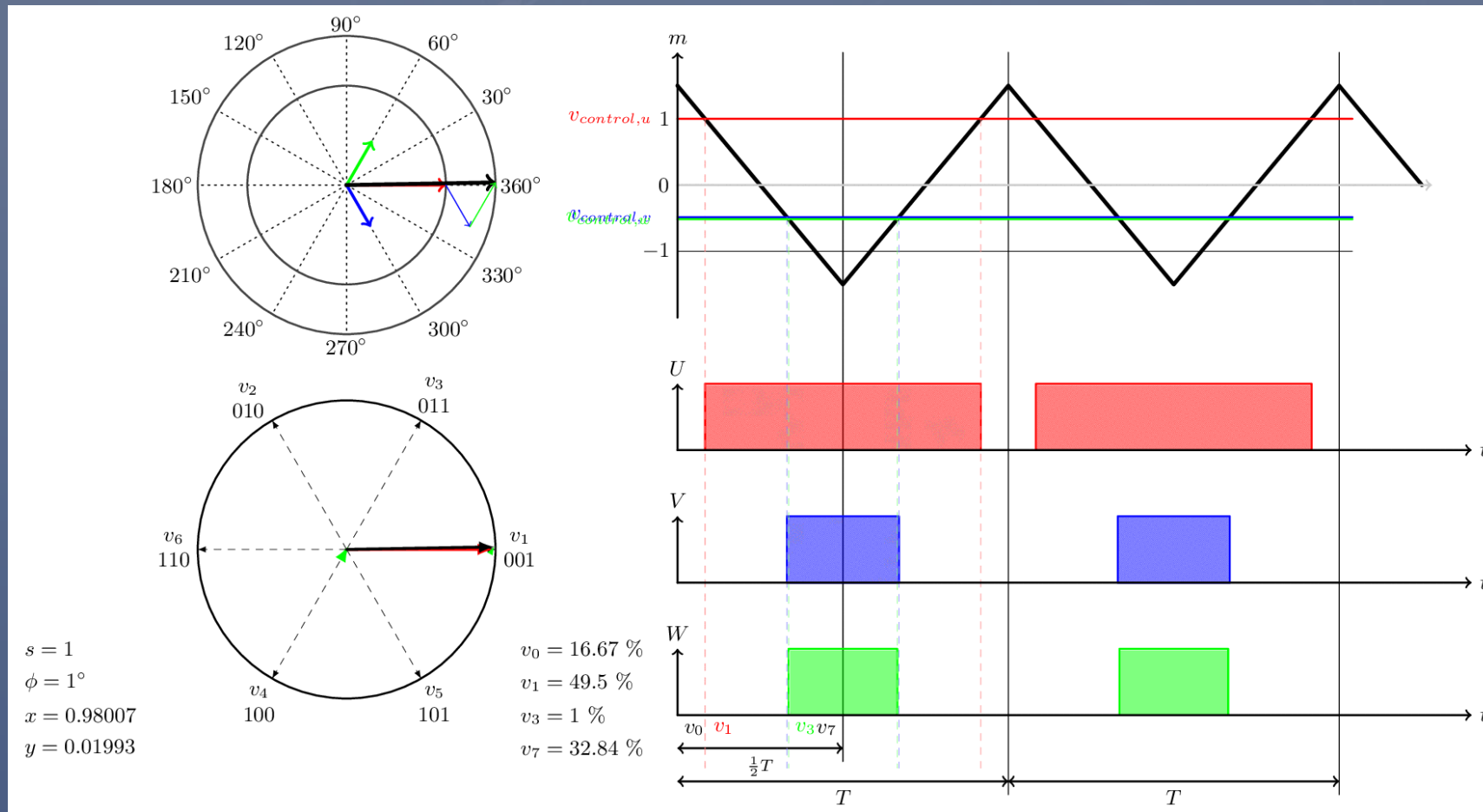
La SVM es conocida por su capacidad para generar señales de salida de alta calidad y baja distorsión armónica, lo que la hace adecuada para aplicaciones sensibles a la calidad de la energía, como sistemas de control de motores de alta precisión y sistemas de alimentación de alta gama.



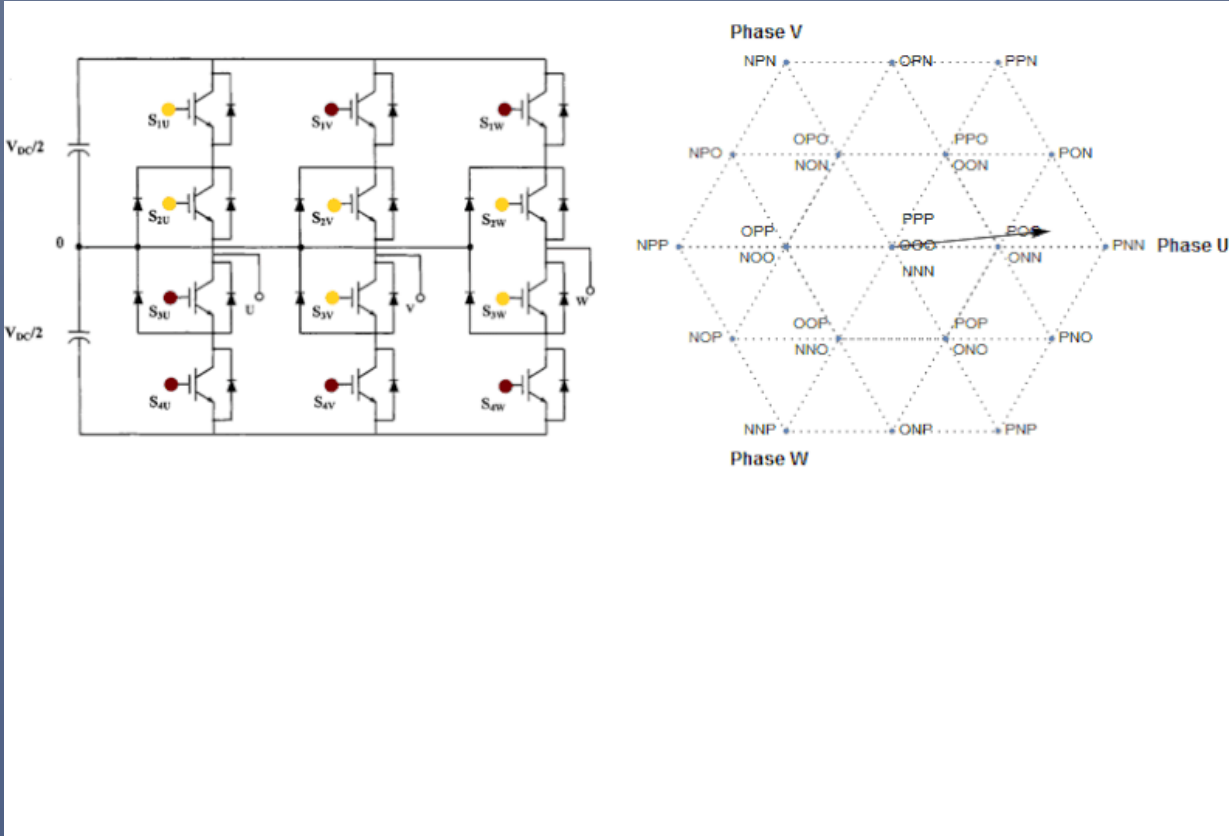
# PROCESO DEL SVM



# VISUALIZACIÓN SVM

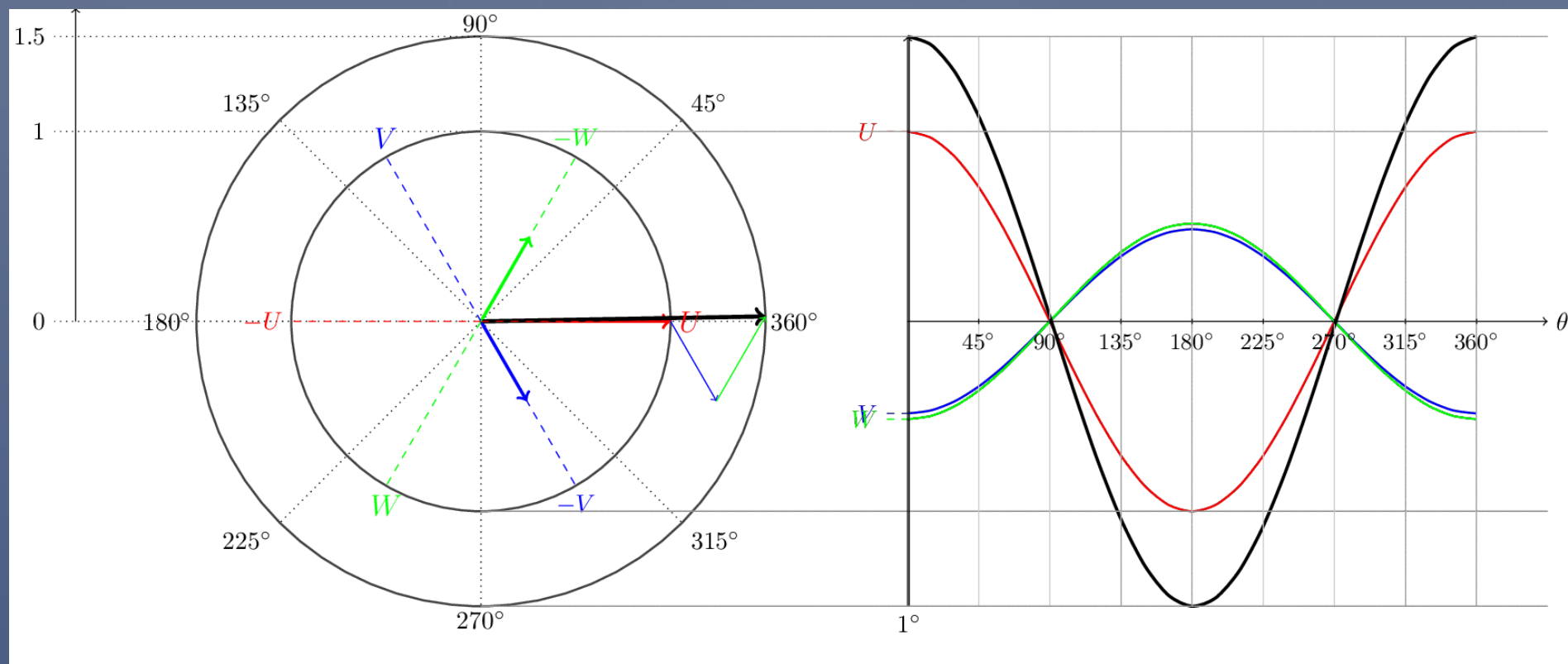


# VISUALIZACIÓN SVM





# VISUALIZACIÓN SVM





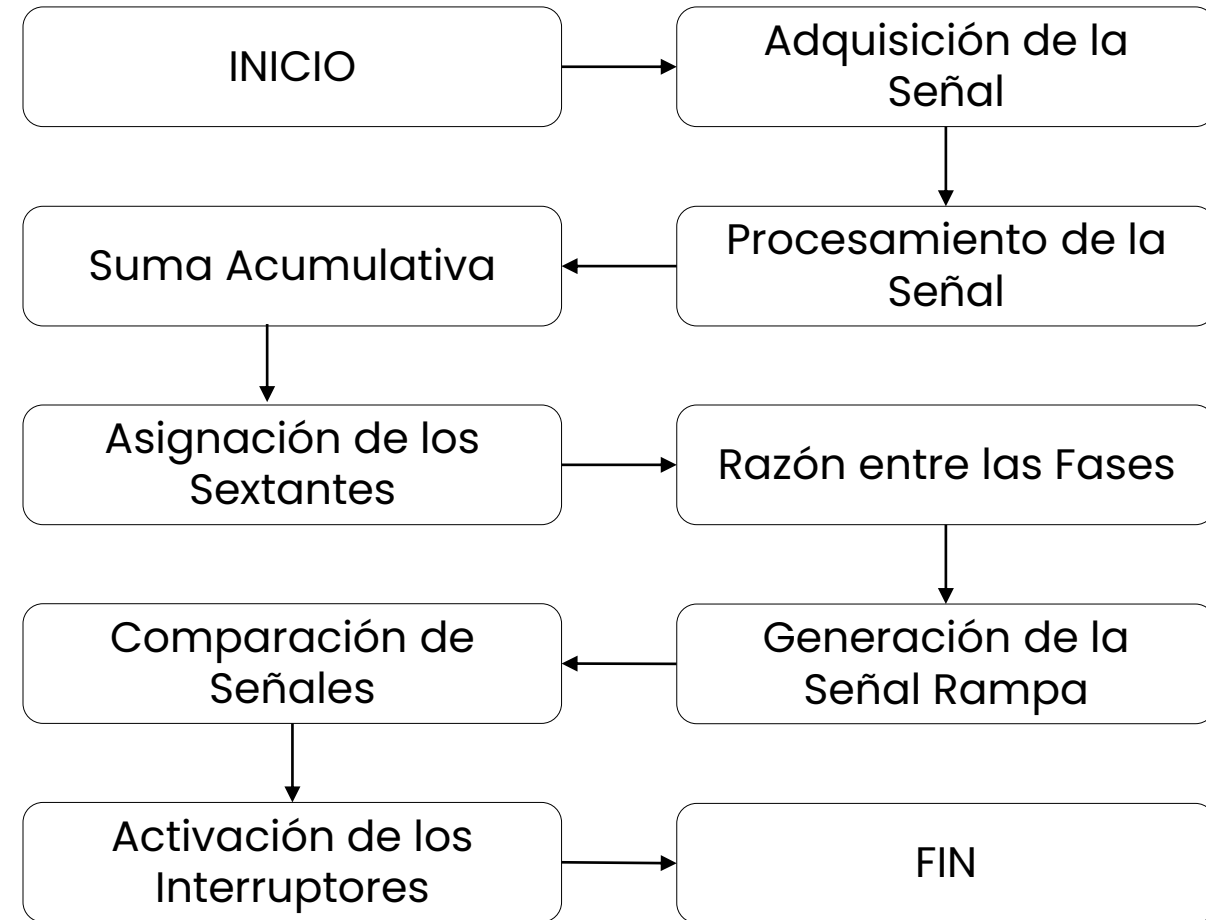
**CIENERGIA UG**

Congreso Internacional de Energía UG

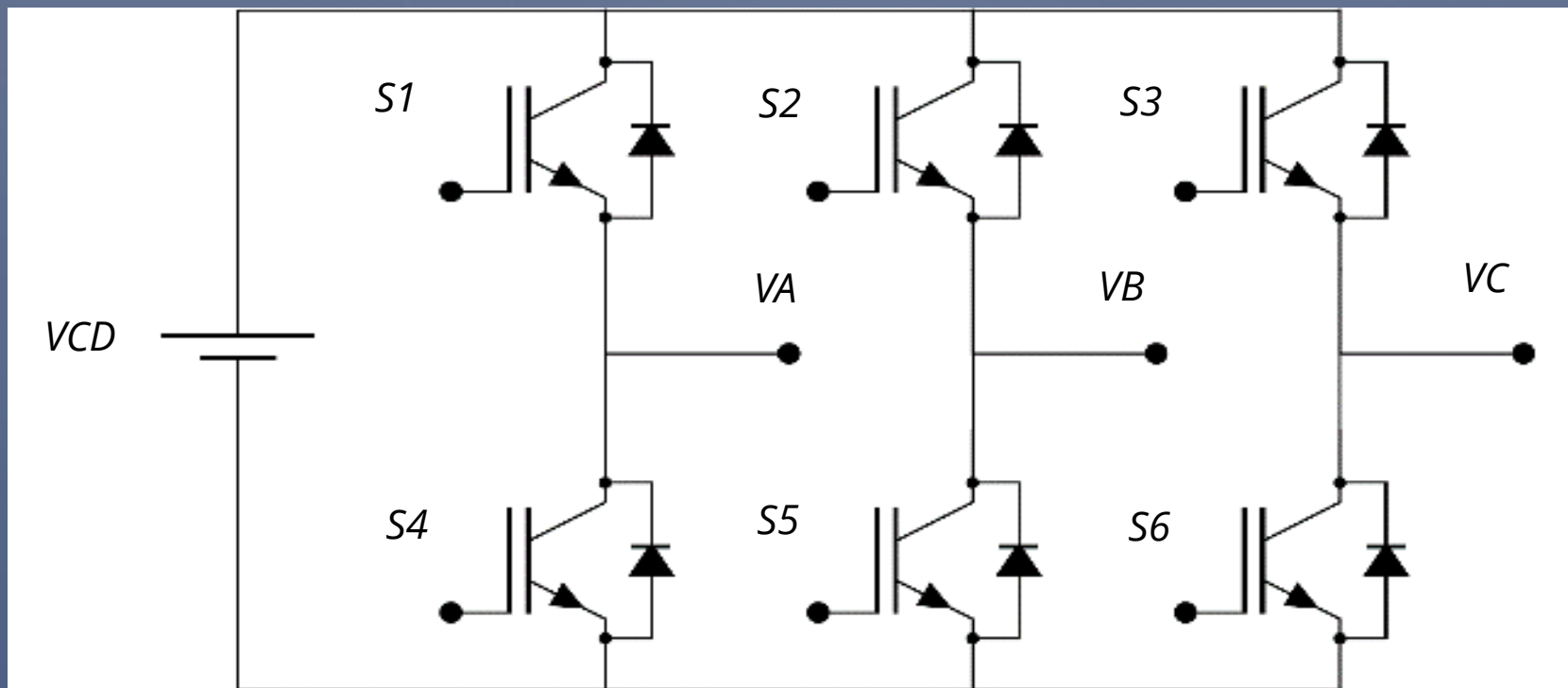
**2023**

# IMPLEMENTACIÓN

# PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN



# INVERSOR DE DOS NIVELES





# Kit de Desarrollo DE1-SoC

## FPGA Cyclone V

- El FPGA Cyclone V proporciona una alta capacidad de procesamiento y flexibilidad para realizar operaciones matemáticas complejas y procesamiento paralelo requerido para la implementación de la técnica de SVM.
- Además, cuenta con un conversor analógico a digital de 12 bits (12-bits ADC) LTC2308 integrado en el chip.





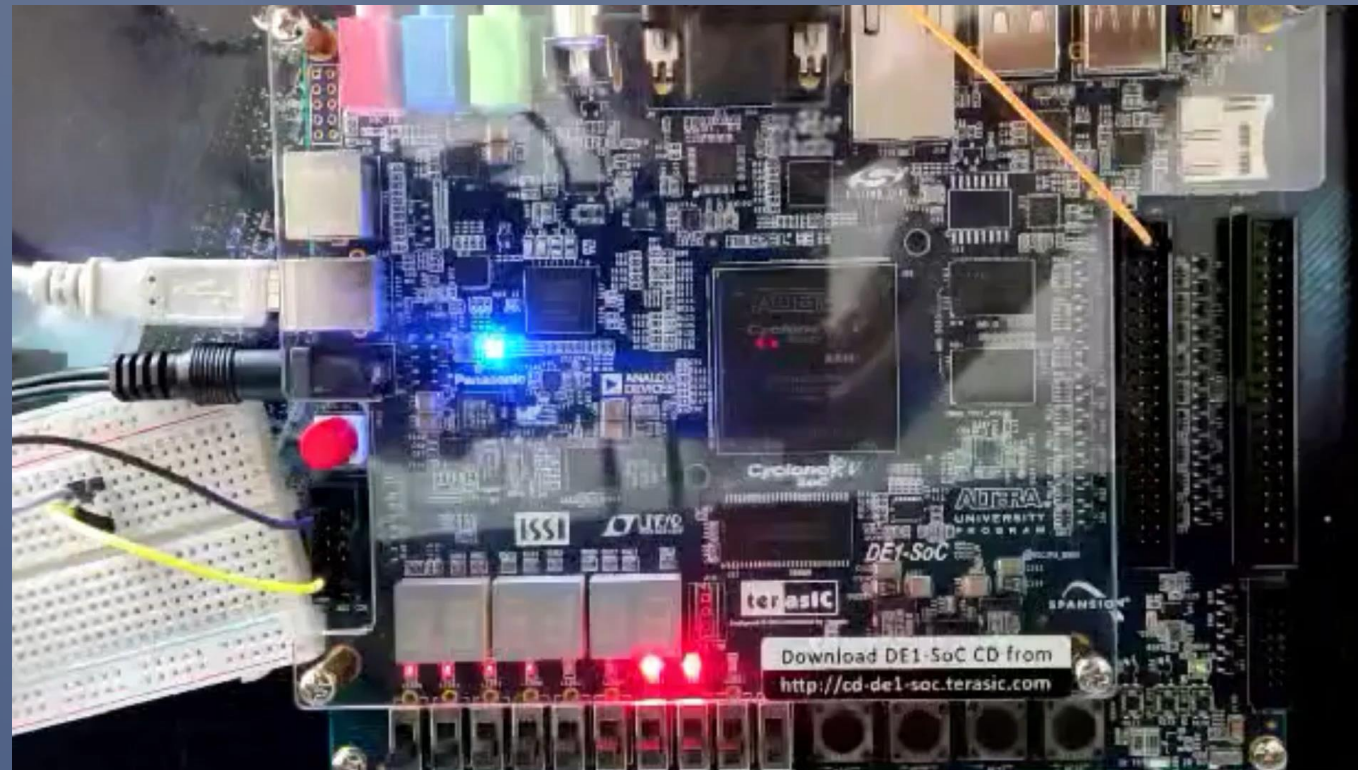
**CIENERGIA UG**

Congreso Internacional de Energía UG

**2023**

# RESULTADOS

# RESULTADOS EN EL FPGA







**CIENERGIA UG**

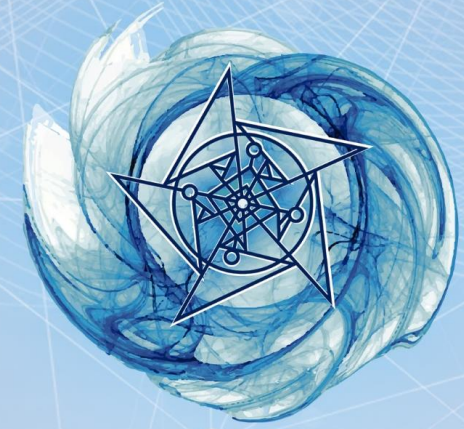
Congreso Internacional de Energía UG

**2023**

# TRABAJO FUTURO



**Gracias**  
**Por su Atención**



**CIENERGIA UG**

Congreso Internacional de Energía UG

**6° EDICIÓN**

**2023**

**SEPTIEMBRE 27, 28, 29**

**SALAMANCA, GTO.**