

# AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO SOLAR FOTOVOLTAICO

David Cadena C., Diego Jaramillo C.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
Sangolquí

Octubre 2015

- 1 **Introducción**
  - Justificación e Importancia
  - Alcance del proyecto
  - Objetivos
  
- 2 Marco Teórico
  
- 3 Diseño
  
- 4 Implementación
  
- 5 Pruebas y Resultados
  
- 6 Conclusiones y Recomendaciones

# Esquema

- 1 **Introducción**
  - **Justificación e Importancia**
    - Alcance del proyecto
    - Objetivos
- 2 Marco Teórico
- 3 Diseño
- 4 Implementación
- 5 Pruebas y Resultados
- 6 Conclusiones y Recomendaciones

# Justificación

Los vehículos eléctricos han tenido un auge debido a la introducción de ideologías que se enfocan a la conservación del medio ambiente.

Limitación por altos costes de los métodos de energización del vehículo, con el paso del tiempo se ha ido mejorando la electrónica que está enfocada a manejar la energía usada por un vehículo eléctrico.

# Justificación

Los vehículos eléctricos han tenido un auge debido a la introducción de ideologías que se enfocan a la conservación del medio ambiente.

Limitación por altos costes de los métodos de energización del vehículo, con el paso del tiempo se ha ido mejorando la electrónica que está enfocada a manejar la energía usada por un vehículo eléctrico.

# Justificación

Los vehículos eléctricos han tenido un auge debido a la introducción de ideologías que se enfocan a la conservación del medio ambiente.

Limitación por altos costes de los métodos de energización del vehículo, con el paso del tiempo se ha ido mejorando la electrónica que está enfocada a manejar la energía usada por un vehículo eléctrico.

# Justificación

Demanda de vehículos con un menor consumo de combustible y una menor emisión de contaminantes, permite el estudio de nuevos enfoques y desarrollos en cuanto a la generación de energía mediante el uso de nuevas fuentes.

Un auto alimentado por energía solar solo puede usarse cuando exista radiación solar, a menos que posea un sistema que permita la generación de energía y su posterior almacenamiento para ser usada por el vehículo en horas donde la radiación solar es mínima o inexistente.

# Justificación

Demanda de vehículos con un menor consumo de combustible y una menor emisión de contaminantes, permite el estudio de nuevos enfoques y desarrollos en cuanto a la generación de energía mediante el uso de nuevas fuentes.

Un auto alimentado por energía solar solo puede usarse cuando exista radiación solar, a menos que posea un sistema que permita la generación de energía y su posterior almacenamiento para ser usada por el vehículo en horas donde la radiación solar es mínima o inexistente.

# Justificación

Demanda de vehículos con un menor consumo de combustible y una menor emisión de contaminantes, permite el estudio de nuevos enfoques y desarrollos en cuanto a la generación de energía mediante el uso de nuevas fuentes.

Un auto alimentado por energía solar solo puede usarse cuando exista radiación solar, a menos que posea un sistema que permita la generación de energía y su posterior almacenamiento para ser usada por el vehículo en horas donde la radiación solar es mínima o inexistente.

# Importancia

El desarrollar proyectos que permitan el uso adecuado de las nuevas fuentes de energía da la apertura para que el presente proyecto sea viable.

Mejorar el funcionamiento del vehículo usando una adecuada topología en la conexión del banco de baterías y el modo en que se cargan las mismas.

Iniciativa para realizar un estudio enfocado al control mediante técnicas de electrónica de potencia, almacenamiento de energía solar y su uso eficiente.

# Importancia

El desarrollar proyectos que permitan el uso adecuado de las nuevas fuentes de energía da la apertura para que el presente proyecto sea viable.

Mejorar el funcionamiento del vehículo usando una adecuada topología en la conexión del banco de baterías y el modo en que se cargan las mismas.

Iniciativa para realizar un estudio enfocado al control mediante técnicas de electrónica de potencia, almacenamiento de energía solar y su uso eficiente.

# Importancia

El desarrollar proyectos que permitan el uso adecuado de las nuevas fuentes de energía da la apertura para que el presente proyecto sea viable.

Mejorar el funcionamiento del vehículo usando una adecuada topología en la conexión del banco de baterías y el modo en que se cargan las mismas.

Iniciativa para realizar un estudio enfocado al control mediante técnicas de electrónica de potencia, almacenamiento de energía solar y su uso eficiente.

# Importancia

El desarrollar proyectos que permitan el uso adecuado de las nuevas fuentes de energía da la apertura para que el presente proyecto sea viable.

Mejorar el funcionamiento del vehículo usando una adecuada topología en la conexión del banco de baterías y el modo en que se cargan las mismas.

Iniciativa para realizar un estudio enfocado al control mediante técnicas de electrónica de potencia, almacenamiento de energía solar y su uso eficiente.

# Esquema

- 1 **Introducción**
  - Justificación e Importancia
  - **Alcance del proyecto**
  - Objetivos
- 2 Marco Teórico
- 3 Diseño
- 4 Implementación
- 5 Pruebas y Resultados
- 6 Conclusiones y Recomendaciones

# Alcance del proyecto

Se desarrollará el diseño e implementación de los diferentes sistemas eléctricos que puede contener el vehículo solar como:

- Banco de baterías
- Sistema de carga de energía para las baterías mediante paneles solares y red eléctrica pública
- Sistema de potencia para funcionamiento de motor
- Sistema de control para aceleración, cambio de giro, parada y arranque del motor eléctrico
- Sistema de frenado regenerativo
- Sistema de control para luces
- Sistema de monitoreo de los parámetros eléctricos
- Uso de tecnología basada en microcontroladores ARM.

# Alcance del proyecto

Se desarrollará el diseño e implementación de los diferentes sistemas eléctricos que puede contener el vehículo solar como:

- Banco de baterías
- Sistema de carga de energía para las baterías mediante paneles solares y red eléctrica pública
- Sistema de potencia para funcionamiento de motor
- Sistema de control para aceleración, cambio de giro, parada y arranque del motor eléctrico
- Sistema de frenado regenerativo
- Sistema de control para luces
- Sistema de monitoreo de los parámetros eléctricos
- Uso de tecnología basada en microcontroladores ARM.

# Alcance del proyecto

Se desarrollará el diseño e implementación de los diferentes sistemas eléctricos que puede contener el vehículo solar como:

- Banco de baterías
- Sistema de carga de energía para las baterías mediante paneles solares y red eléctrica pública
- Sistema de potencia para funcionamiento de motor
- Sistema de control para aceleración, cambio de giro, parada y arranque del motor eléctrico
- Sistema de frenado regenerativo
- Sistema de control para luces
- Sistema de monitoreo de los parámetros eléctricos
- Uso de tecnología basada en microcontroladores ARM.

# Esquema

1

## Introducción

- Justificación e Importancia
- Alcance del proyecto
- **Objetivos**

2

## Marco Teórico

3

## Diseño

4

## Implementación

5

## Pruebas y Resultados

6

## Conclusiones y Recomendaciones

# Objetivos

Automatizar el sistema eléctrico de un prototipo de vehículo solar fotovoltaico mediante técnicas de electrónica de potencia.

Plantear una topología de conexión de baterías para la alimentación del motor eléctrico del vehículo solar que permita prolongar el tiempo de vida útil del vehículo.

Implementar un sistema de carga para el banco de baterías a través de paneles fotovoltaicos y por red eléctrica pública.

# Objetivos

Automatizar el sistema eléctrico de un prototipo de vehículo solar fotovoltaico mediante técnicas de electrónica de potencia.

Plantear una topología de conexión de baterías para la alimentación del motor eléctrico del vehículo solar que permita prolongar el tiempo de vida útil del vehículo.

Implementar un sistema de carga para el banco de baterías a través de paneles fotovoltaicos y por red eléctrica pública.

# Objetivos

Automatizar el sistema eléctrico de un prototipo de vehículo solar fotovoltaico mediante técnicas de electrónica de potencia.

Plantear una topología de conexión de baterías para la alimentación del motor eléctrico del vehículo solar que permita prolongar el tiempo de vida útil del vehículo.

Implementar un sistema de carga para el banco de baterías a través de paneles fotovoltaicos y por red eléctrica pública.

# Objetivos

Automatizar el sistema eléctrico de un prototipo de vehículo solar fotovoltaico mediante técnicas de electrónica de potencia.

Plantear una topología de conexión de baterías para la alimentación del motor eléctrico del vehículo solar que permita prolongar el tiempo de vida útil del vehículo.

Implementar un sistema de carga para el banco de baterías a través de paneles fotovoltaicos y por red eléctrica pública.

# Objetivos

Implementar un sistema de freno regenerativo que permita la carga del banco de baterías en el vehículo para condiciones en las cuales no sea necesario el uso del motor eléctrico de una manera directa.

Desarrollar un sistema de monitoreo que permitan conocer el tiempo de autonomía del vehículo y parámetros eléctricos.

# Objetivos

Implementar un sistema de freno regenerativo que permita la carga del banco de baterías en el vehículo para condiciones en las cuales no sea necesario el uso del motor eléctrico de una manera directa.

Desarrollar un sistema de monitoreo que permitan conocer el tiempo de autonomía del vehículo y parámetros eléctricos.

# Objetivos

Implementar un sistema de freno regenerativo que permita la carga del banco de baterías en el vehículo para condiciones en las cuales no sea necesario el uso del motor eléctrico de una manera directa.

Desarrollar un sistema de monitoreo que permitan conocer el tiempo de autonomía del vehículo y parámetros eléctricos.



# Marco Teórico

## Sistemas Solares fotovoltaicos

Producen energía eléctrica directamente de la radiación solar, está conformado básicamente de un modulo ó generador fotovoltaico, una batería, un regulador de carga y las cargas en corriente continua.

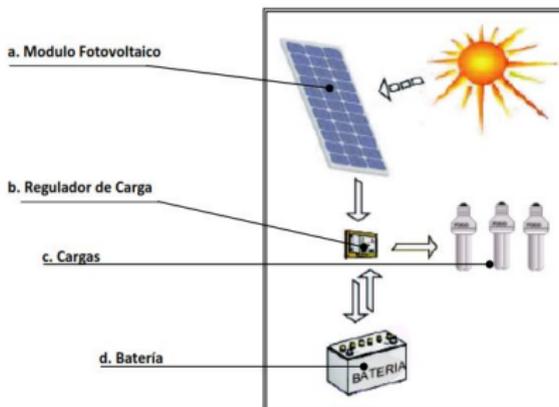


Figura: Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico básico

# Marco Teórico

## Motores de Imán Permanente

El campo magnético de un motor de DC se puede producir por imanes permanentes o bobinas. Los motores de imán permanente se clasifican de acuerdo con el esquema de conmutación y al diseño de la armadura.

De acuerdo con la construcción de la armadura se clasifican en :

- Núcleo de hierro.
- Devanado Superficial.
- Bobina móvil.

# Marco Teórico

## Motores de Imán Permanente

El campo magnético de un motor de DC se puede producir por imanes permanentes o bobinas. Los motores de imán permanente se clasifican de acuerdo con el esquema de conmutación y al diseño de la armadura.

De acuerdo con la construcción de la armadura se clasifican en :

- Núcleo de hierro.
- Devanado Superficial.
- Bobina móvil.

# Motor: Núcleo de Hierro

El flujo magnético que produce el imán circula a través de la estructura del rotor laminado el cual tiene ranuras donde se localizan los conductores de la armadura. Las características de estos motores son:

- La inercia relativamente alta (ya que la parte giratoria está formada por las bobinas de la armadura).
- Inductancia alta, bajo costo y alta confiabilidad.

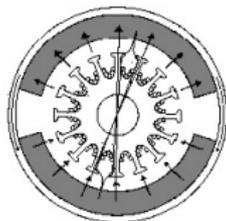


Figura: Motor Imán Permanente con Núcleo de Hierro

# Motor: Núcleo de Hierro

El flujo magnético que produce el imán circula a través de la estructura del rotor laminado el cual tiene ranuras donde se localizan los conductores de la armadura. Las características de estos motores son:

- La inercia relativamente alta (ya que la parte giratoria está formada por las bobinas de la armadura).
- Inductancia alta, bajo costo y alta confiabilidad.

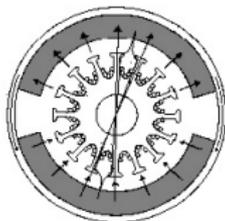


Figura: Motor Imán Permanente con Núcleo de Hierro

# Motor: Devanado Superficial

Los conductores de la armadura están pegados a la superficie del rotor, construido de discos laminados sujetos al eje del motor. Los conductores están proyectados en el entre hierro de aire que se encuentra entre el rotor y el campo del imán, este campo presenta una menor inductancia que el del motor con estructura de núcleo de hierro.

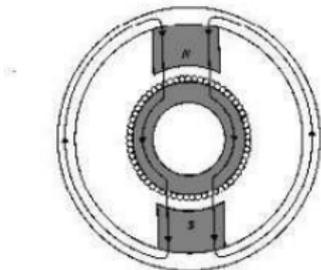


Figura: Motor de Devanado Superficial

# Motor: Bobina Móvil

Son diseñados para tener momentos de inercia e inductancia de armadura muy bajos. La estructura del conductor está soportada por un material no magnético que forma un cilindro hueco. Un extremo del cilindro forma un eje, que está conectado al eje del motor, por tal motivo el motor de bobina móvil es una buena elección como actuador en sistemas de control de alto desempeño.

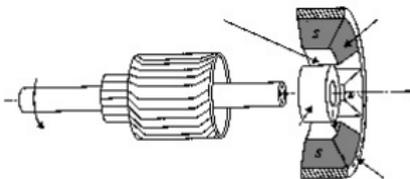


Figura: Motor de Bobina Móvil

# Freno Regenerativo

En este tipo de freno, la energía de rotación producida por el motor (el cuál está funcionando como generador durante la etapa de frenado de un vehículo), se devuelve a la fuente de alimentación en lugar de que ésta energía sea disipada en forma de calor.

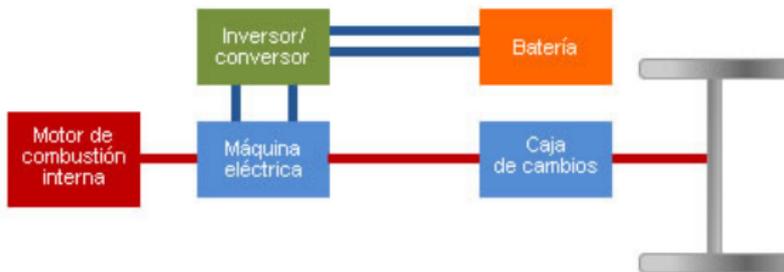


Figura: Bloques de un Sistema de Freno Regenerativo

# Capacidad de Almacenamiento de una Batería

## Capacidad de una Batería

Es la cantidad de energía que una batería puede almacenar, se mide en amperios-hora (Ah), indica la cantidad de energía que puede generar la batería antes de descargarse completamente.

## Capacidad de una Batería

La capacidad cambia según la antigüedad y estado de la batería, también según la velocidad a la que se sustrae la energía. Si la corriente se extrae rápidamente su capacidad se reduce.

# Carga de una Batería

## Carga de una Batería

La corriente de carga, es la corriente eléctrica de la que está provista una batería y que está almacenada en ella. El tiempo requerido para cargar completamente una batería depende de la magnitud de la corriente con la cual se carga.

$$Q = I \times T$$

Donde (Q, capacidad energía [Ah]), (I corriente de carga [A]) , (T tiempo de carga en [h])

# Topologías de Conexión de Baterías

Existen dos tipos de formas para conectar baterías a la vez, estos son en serie y paralelo.

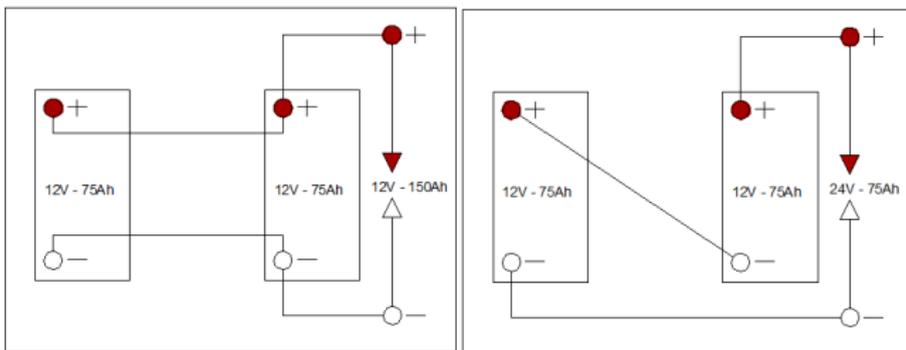


Figura: Topologías de conexión de baterías

# Cargador de Baterías

## Cargador Baterías

Es un equipo que permite suministrar tensión y corriente eléctrica a una batería con la finalidad de que se puedan revertir procesos químicos dentro de cada una de sus celdas para que estas vuelvan a almacenar energía eléctrica de manera química.



Figura: Cargador de baterias

# Control de Par y Velocidad de Motor Eléctrico DC

## Control Motor DC

Un motor DC posee ciertos límites de funcionamiento que deben ser tomados en cuenta para su control, dentro de dichos límites se da importancia a la corriente de armadura y la tensión inducida de armadura con que se energice al motor, puesto que de estos dos parámetros dependerá el par y velocidad que se induzca al motor DC.

# Control del Sentido de Giro por Método de Cuadrantes

## Control Motor - Sentido Giro

Control por Cuadrantes, el primer y tercer cuadrante representan un motor energizado tanto en polaridad positiva como negativa respectivamente, mientras que en el segundo y cuarto cuadrante se tiene un proceso de frenado debido a que el motor a dejado de recibir energía y a comenzado a funcionar como un generador eléctrico.

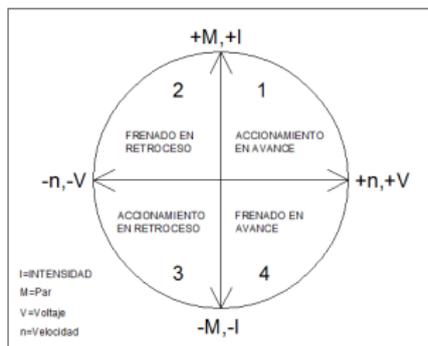


Figura: Esquema de Control por Cuadrantes para Motor DC

# Control en Etapa de Energización Motor DC

Existen dos métodos que han tomado importancia, el control por ancho de pulso (*Pulse Width Modulation*) y control por frecuencia de pulso (*Pulse Frequency Modulation*), también conocida como control por modo deslizante, siendo este último una técnica más robusta para cargas de alto consumo energético.



# Control por Modo Deslizante

Si se tiene la ley de control ( $u$ ), definida como:

$$u = \begin{cases} 1 & s(x) > 0 \\ 0 & s(x) < 0 \end{cases}$$

La función  $s(x)$  se denomina función de conmutación, y dicta el valor que tomará una función con la que se quiere incidir dentro de la ley de control del modo deslizante, esta función posee una superficie con dimensión de

$$S = \{x \in R^n : s(x) = 0\}$$

# Control por Modo Deslizante

Si se tiene la ley de control ( $u$ ), definida como:

$$u = \begin{cases} 1 & s(x) > 0 \\ 0 & s(x) < 0 \end{cases}$$

La función  $s(x)$  se denomina función de conmutación, y dicta el valor que tomará una función con la que se quiere incidir dentro de la ley de control del modo deslizante, esta función posee una superficie con dimensión de

$$S = \{x \in R^n : s(x) = 0\}$$

# Control por Modo Deslizante

Si se tiene la ley de control ( $u$ ), definida como:

$$u = \begin{cases} 1 & s(x) > 0 \\ 0 & s(x) < 0 \end{cases}$$

La función  $s(x)$  se denomina función de conmutación, y dicta el valor que tomará una función con la que se quiere incidir dentro de la ley de control del modo deslizante, esta función posee una superficie con dimensión de

$$S = \{x \in R^n : s(x) = 0\}$$

# Control por Modo Deslizante

Donde  $S$  es la superficie de discontinuidad o superficie de conmutación, si existe una región  $R$  donde existe un modo deslizante, es un subconjunto de  $S$ . Un convertidor puede estar controlado en modo deslizante cuando se utiliza la ley de control  $u$  y hay una región  $R$  donde existe modo deslizante.

Para que exista el modo de deslizamiento, la función  $s(x)$  y su derivada temporal, deben tener signos contrarios para que las trayectorias generadas se dirijan a la superficie  $S$ .

# Control por Modo Deslizante

Donde  $S$  es la superficie de discontinuidad o superficie de conmutación, si existe una región  $R$  donde existe un modo deslizante, es un subconjunto de  $S$ . Un convertidor puede estar controlado en modo deslizante cuando se utiliza la ley de control  $u$  y hay una región  $R$  donde existe modo deslizante.

Para que exista el modo de deslizamiento, la función  $s(x)$  y su derivada temporal, deben tener signos contrarios para que las trayectorias generadas se dirijan a la superficie  $S$ .

# Control por Modo Deslizante

Donde  $S$  es la superficie de discontinuidad o superficie de conmutación, si existe una región  $R$  donde existe un modo deslizante, es un subconjunto de  $S$ . Un convertidor puede estar controlado en modo deslizante cuando se utiliza la ley de control  $u$  y hay una región  $R$  donde existe modo deslizante.

Para que exista el modo de deslizamiento, la función  $s(x)$  y su derivada temporal, deben tener signos contrarios para que las trayectorias generadas se dirijan a la superficie  $S$ .

# Control por Modo Deslizante

Este modo de control permite variar la frecuencia de trabajo dentro de un convertor de energía, la estabilidad de la frecuencia con la que se trabaje, se logra cuando el convertor a alcanzado un punto de estabilidad entre el valor de la referencia y el valor de proceso con el que se este trabajando.

Este método permite el uso de un amplio rango de cargas que pueden oscilar entre valores muy bajos (miliohms) y altos (kilohms), las desventajas que presenta son las de alto rizado a la salida y al trabajar con frecuencias variables es necesario una correcta ejecución en la etapa de control de conmutación debiendo limitarse anchos de banda para un correcto trabajo.

# Control por Modo Deslizante

Este modo de control permite variar la frecuencia de trabajo dentro de un convertor de energía, la estabilidad de la frecuencia con la que se trabaje, se logra cuando el convertor a alcanzado un punto de estabilidad entre el valor de la referencia y el valor de proceso con el que se este trabajando.

Este método permite el uso de un amplio rango de cargas que pueden oscilar entre valores muy bajos (miliohms) y altos (kilohms), las desventajas que presenta son las de alto rizado a la salida y al trabajar con frecuencias variables es necesario una correcta ejecución en la etapa de control de conmutación debiendo limitarse anchos de banda para un correcto trabajo.

# Control por Modo Deslizante

Este modo de control permite variar la frecuencia de trabajo dentro de un convertor de energía, la estabilidad de la frecuencia con la que se trabaje, se logra cuando el convertor a alcanzado un punto de estabilidad entre el valor de la referencia y el valor de proceso con el que se este trabajando.

Este método permite el uso de un amplio rango de cargas que pueden oscilar entre valores muy bajos (miliohms) y altos (kilohms), las desventajas que presenta son las de alto rizado a la salida y al trabajar con frecuencias variables es necesario una correcta ejecución en la etapa de control de conmutación debiendo limitarse anchos de banda para un correcto trabajo.

# Identificación de la planta (Función de transferencia del Motor DC)

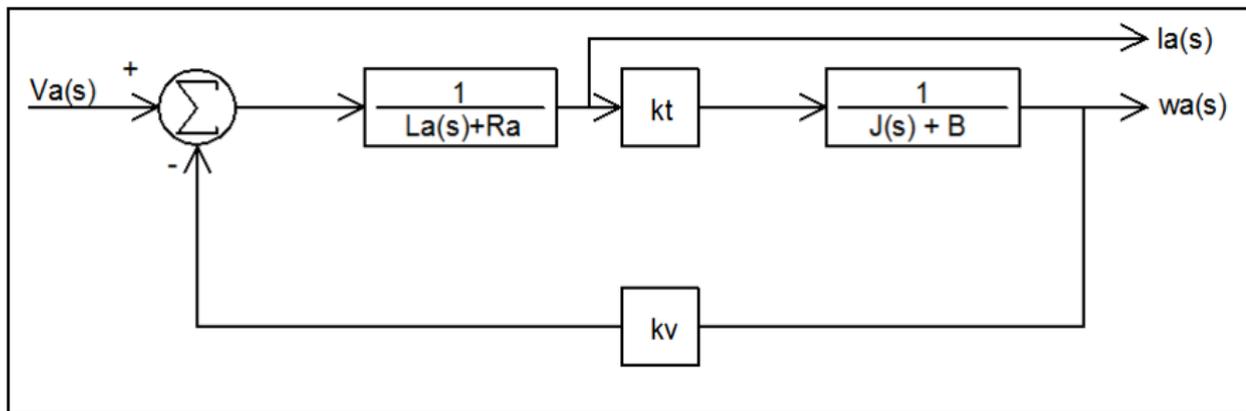


Figura: Esquema en bloques de un Motor DC de imán permanente

# Identificación de la planta (Función de transferencia del Motor DC)

De la anterior Figura, se tiene:

$V_a$  = tensión inducido de armadura.

$L_a$  = inductancia de armadura reflejada por el motor

$R_a$  = resistencia de armadura

$k_t$  = constante torque dada por el fabricante del motor

$k_v$  = constante velocidad dada por el fabricante del motor

$J$  = inercia del rotor, depende de la carga acoplada al motor

$B$  = coeficiente de amortiguación asociado con la rotación del motor

# Identificación de la planta (Función de transferencia de Motor DC)

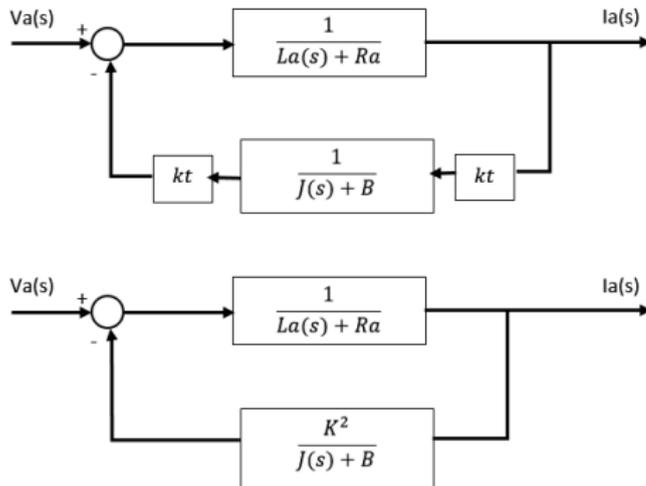


Figura: Simplificación de bloques de la Función de Transferencia

# Identificación de la planta (Función de transferencia de Motor DC)

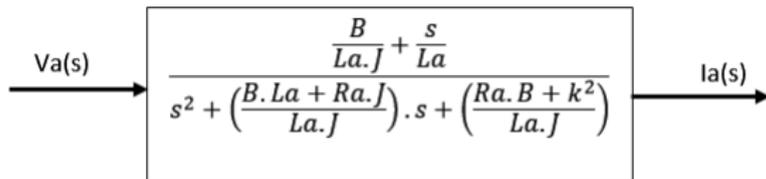


Figura: Función de transferencia del Motor DC de imán permanente

# Identificación de la planta (Función de transferencia de Motor DC)

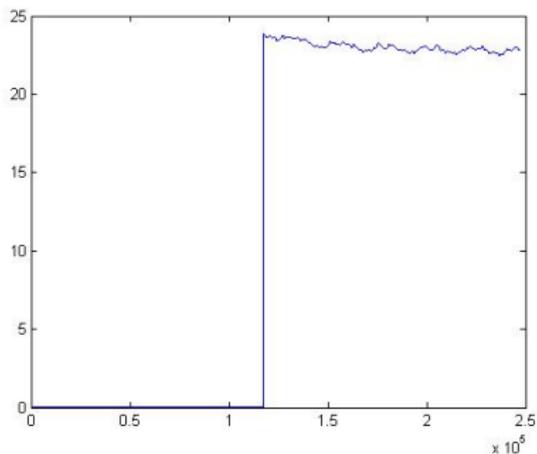


Figura: Vector de voltaje de entrada del motor dc

# Identificación de la planta (Función de transferencia de Motor DC)

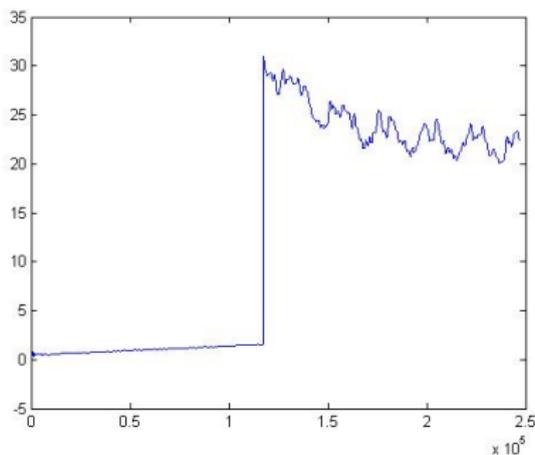
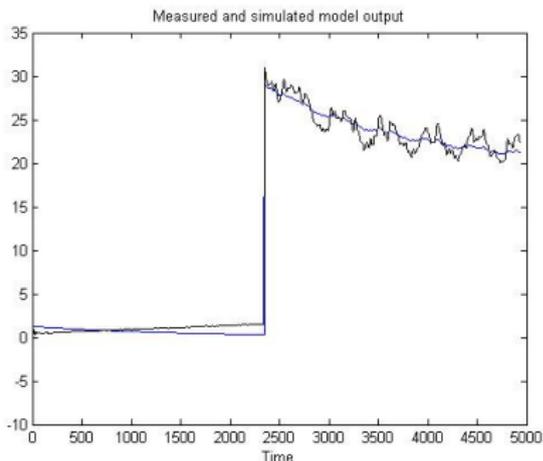


Figura: Vector de corriente de salida del motor dc

# Identificación de la planta (Función de transferencia de Motor DC)



Process model with transfer function:

$$G(s) = K_p * \frac{1 + T_z * s}{(1 + T_{p1} * s)(1 + T_{p2} * s)}$$

$K_p = 0.85525$   
 $T_{p1} = 1640.6$   
 $T_{p2} = 0.0019563$   
 $T_z = 2317.8$

$$G(s) = \frac{617,54 \cdot s + 0.266}{s^2 + 511.1s + 0.311}$$

**Figura:** Resultado de la Función de transferencia del motor con la herramienta ident de matlab

# Superficies de control para uso de modo deslizante en los convertidores

## Convertidor Boost

Superficie de control  $\sigma = I_{ref} - I = 0$

$$\text{Ley de control} \begin{cases} \sigma < 0 \implies u = 0 \\ \sigma > 0 \implies u = 1 \end{cases}$$

## Convertidor Buck

Superficie de control  $\sigma = e + k \frac{de}{dt}$ , donde  $e = V_{ref} - V$

Siendo  $k < R.C$

$$\text{Ley de control} \begin{cases} \sigma > 0 \implies u = 1 \\ \sigma < 0 \implies u = 0 \end{cases}$$

# Superficies de control para uso de modo deslizante en los convertidores

## Convertidor Boost

Superficie de control  $\sigma = I_{ref} - I = 0$

Ley de control  $\begin{cases} \sigma < 0 \implies u = 0 \\ \sigma > 0 \implies u = 1 \end{cases}$

## Convertidor Buck

Superficie de control  $\sigma = e + k \frac{de}{dt}$ , donde  $e = V_{ref} - V$

Siendo  $k < R.C$

Ley de control  $\begin{cases} \sigma > 0 \implies u = 1 \\ \sigma < 0 \implies u = 0 \end{cases}$

# Superficies de control para uso de modo deslizante en los convertidores

## Convertidor Boost

Superficie de control  $\sigma = I_{ref} - I = 0$

$$\text{Ley de control} \begin{cases} \sigma < 0 \implies u = 0 \\ \sigma > 0 \implies u = 1 \end{cases}$$

## Convertidor Buck

Superficie de control  $\sigma = e + k \frac{de}{dt}$ , donde  $e = V_{ref} - V$

Siendo  $k < R.C$

$$\text{Ley de control} \begin{cases} \sigma > 0 \implies u = 1 \\ \sigma < 0 \implies u = 0 \end{cases}$$

# Fórmulas para el diseño de los convertidores

## Convertidor Boost

Parámetro	Fórmula
Ciclo de trabajo	$D = \frac{V_O - V_{IN}}{V_O}$
Corriente que circula por el inductor	$I_L = \frac{I_O}{1-D}$
Valor de la inductancia	$L = \frac{V_{IN} D \cdot T_S}{\Delta I}$
Valor del capacitor	$C = \frac{I_O D}{f_S \Delta V_C}$

# Fórmulas para el diseño de los convertidores

## Convertidor Buck

Parámetro	Fórmula
Ciclo de trabajo	$D = \frac{V_O}{V_{IN}}$
Corriente que circula por el inductor	$L = \frac{(1-D)*R}{2f_s}$
Intensidad a través de la bobina	$I_L = \frac{V_O}{R}$
Variación en la intensidad de la bobina	$\Delta I = \left(\frac{V_{IN}-V_O}{L}\right) D \cdot T_S$
Corriente máxima en la bobina	$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2}$
Valor del Capacitor	$C = \frac{1-D}{8*L*\left(\frac{\Delta V_O}{V_O}\right)*f_s^2}$

# Sistema de Control Motor DC

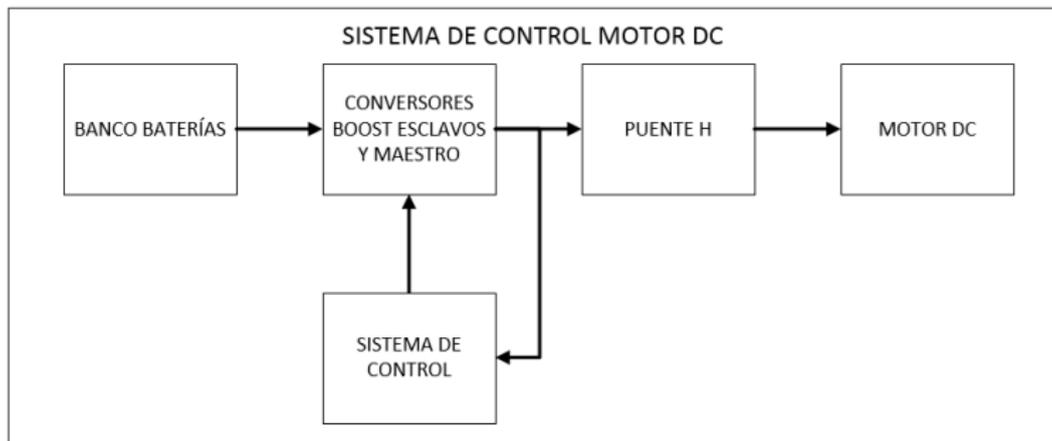


Figura: Diagrama Bloques Sistema Control Motor

# Datos para el diseño del convertidor Boost sistema motor

- Tensión de entrada  $V_{IN} = 24V$
- Tensión de Salida  $V_O = 48V$
- Intensidad de Salida  $I_O = 30A$
- Frecuencia  $f_s = 100Khz$
- Rizado en el inductor  $\Delta I = 2A$
- Rizado de la tensión de salida menor a 1 %

# Valores resultantes del diseño del convertidor Boost sistema motor

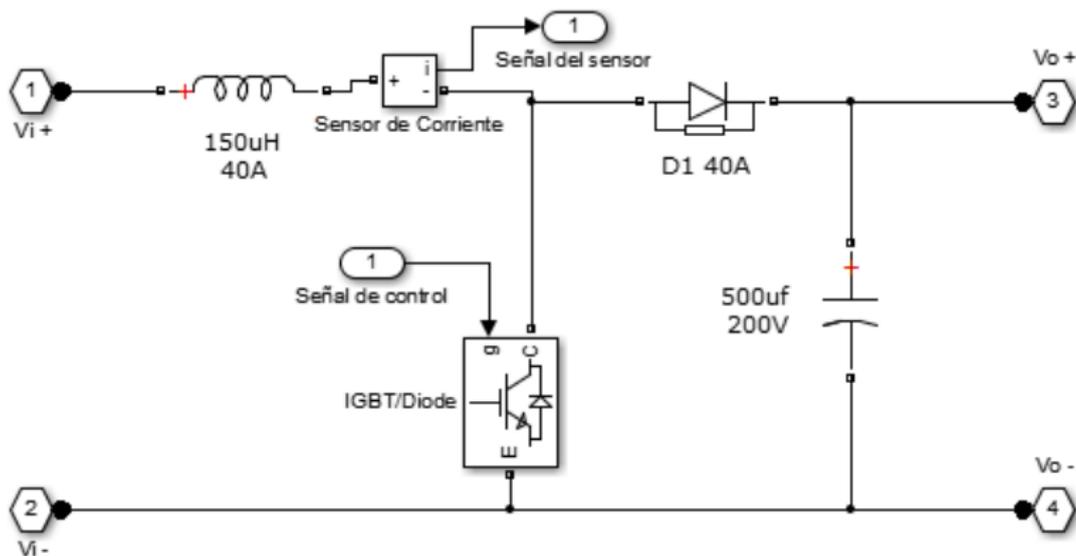


Figura: Convertidor Boost - Sistema Control de Motor DC



# Líneas de código del controlador en modo Deslizante para el Sistema de control del motor

```
// Fcuadrada=100khz
UB_TIMER2_Init(20,20);

// Timer2 starten
UB_TIMER2_Start();
UB_ADC2_DMA_Init();

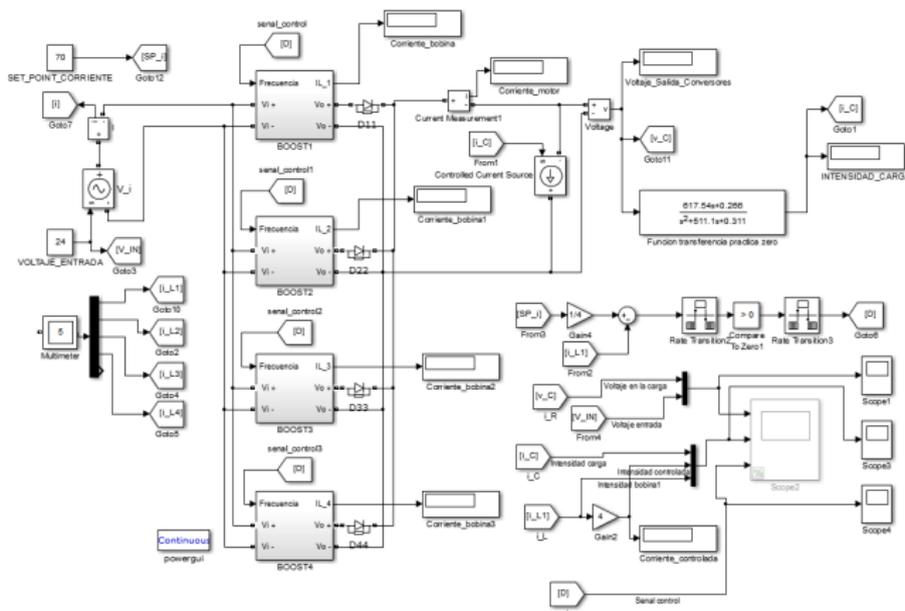
while(1)
{
    il_sp = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA1);//leo señal del pedal

    il_pv = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA0);//leo señal del sensor de corriente
}

//-----
// ISR von Timer2
//-----
void UB_TIMER2_ISR_CallBack(void)
{
    if(il_sp-->0)
    {
        GPIOA->BRR = GPIO_Pin_10;//senal control=0
    }
    else
    {
        if((il_pv>il_sp))
        {
            GPIOA->BRR = GPIO_Pin_10; //senal control=0
        }
        else
        {
            GPIOA->BSRR = GPIO_Pin_10;//senal control=1
        }
    }
}
}
```

Figura: Líneas de código del control deslizante del motor

# Simulación en Simulink del Sistema Control Motor DC



**Figura:** Diagrama en simulink del sistema de control con modo deslizante del motor dc.

# Resultados Simulación Sistema Motor

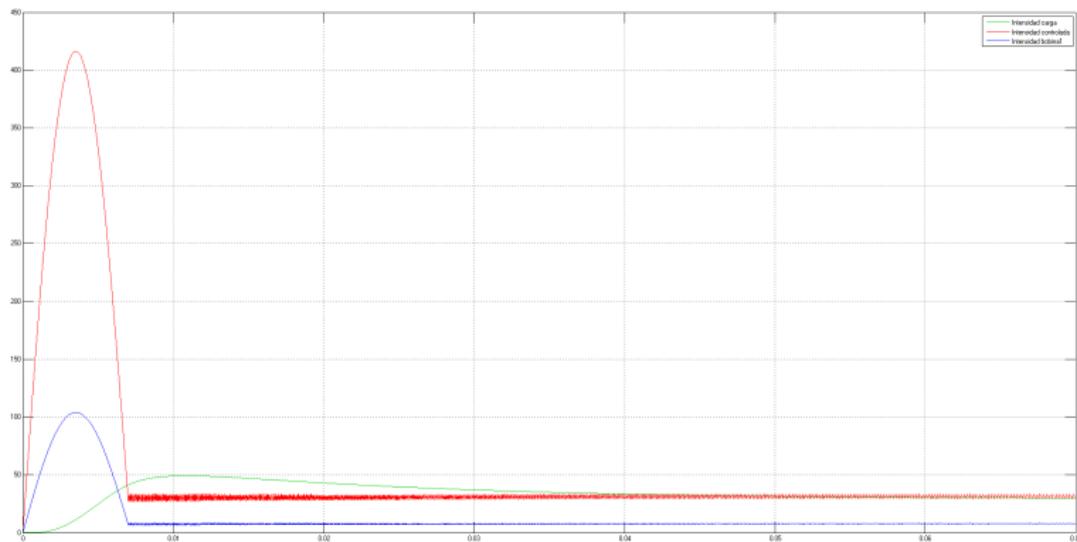


Figura: Corriente resultante control a 30A

# Resultados Simulación Sistema Motor

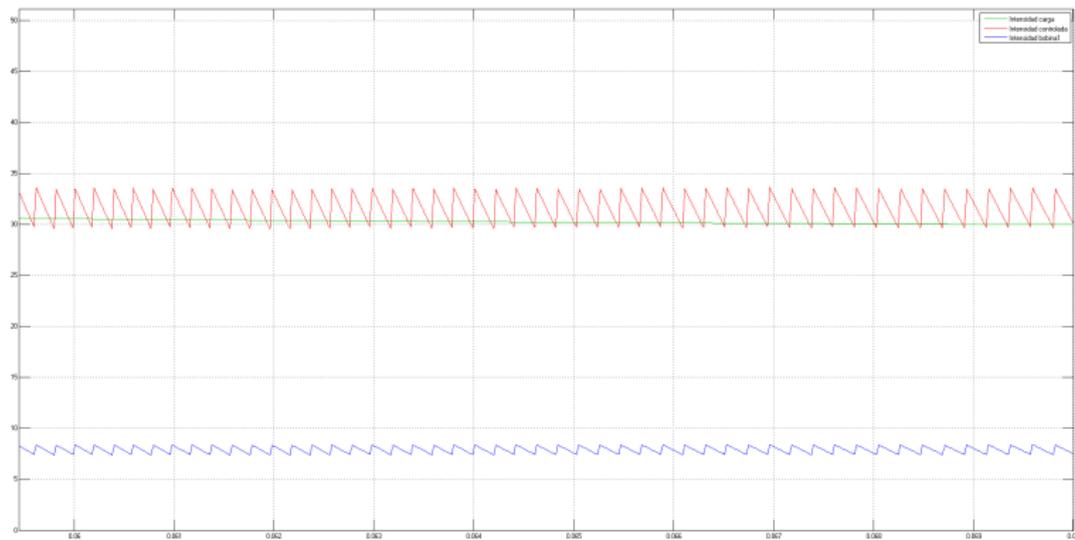


Figura: Imagen ampliada de la corriente resultante control a 30A

# Resultados Simulación Sistema Motor

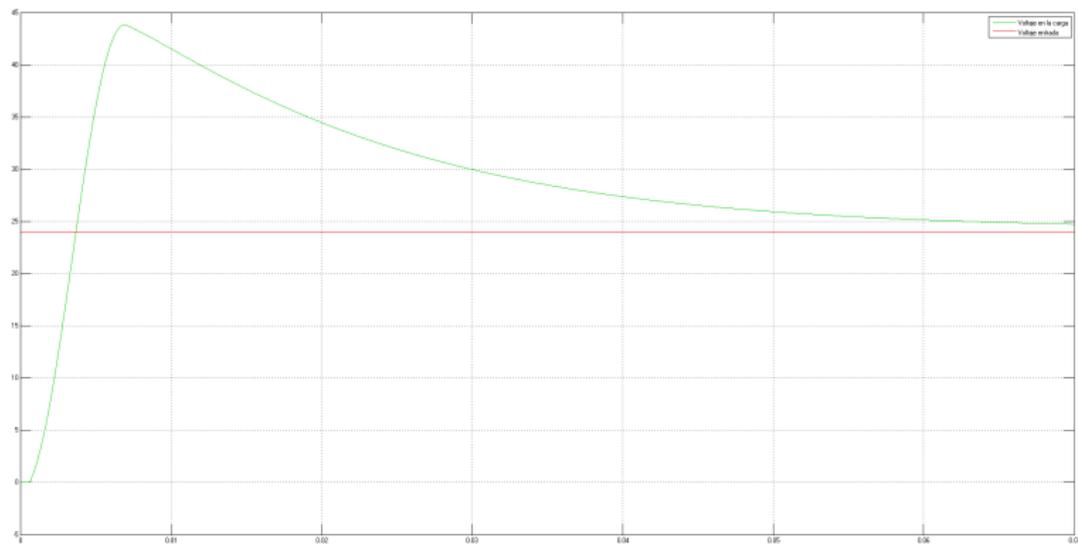


Figura: Voltaje resultante control a 30A

# Resultados Simulación Sistema Motor

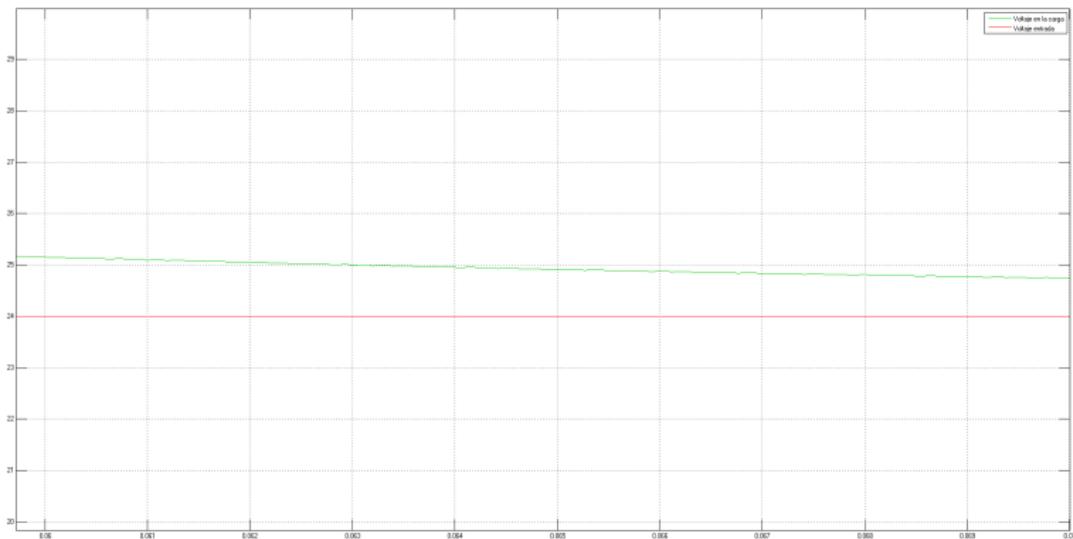


Figura: Imagen ampliada del Voltaje resultante control a 30A

# Resultados Simulación Sistema Motor

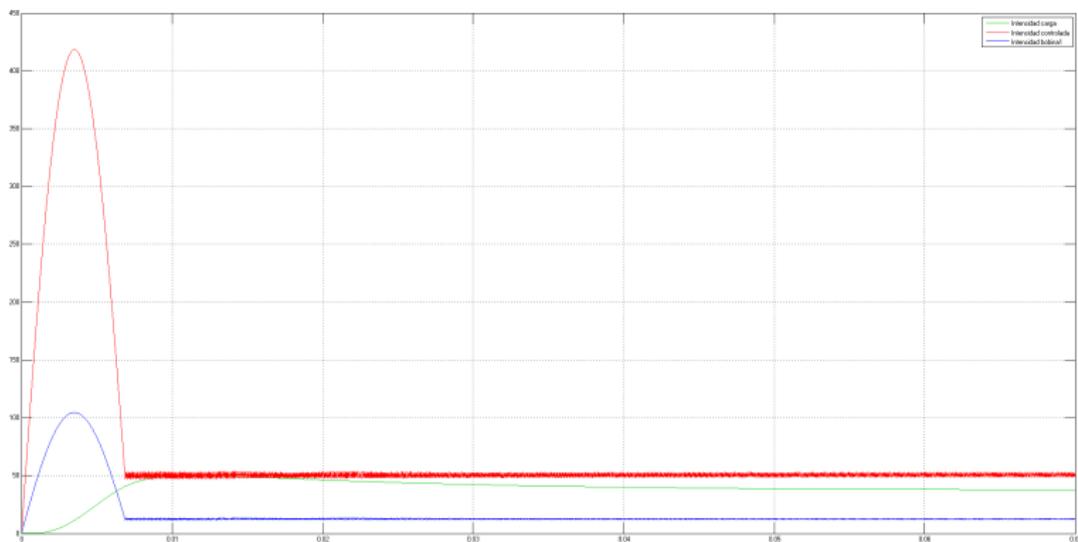


Figura: Corriente resultante control a 50A

# Resultados Simulación Sistema Motor

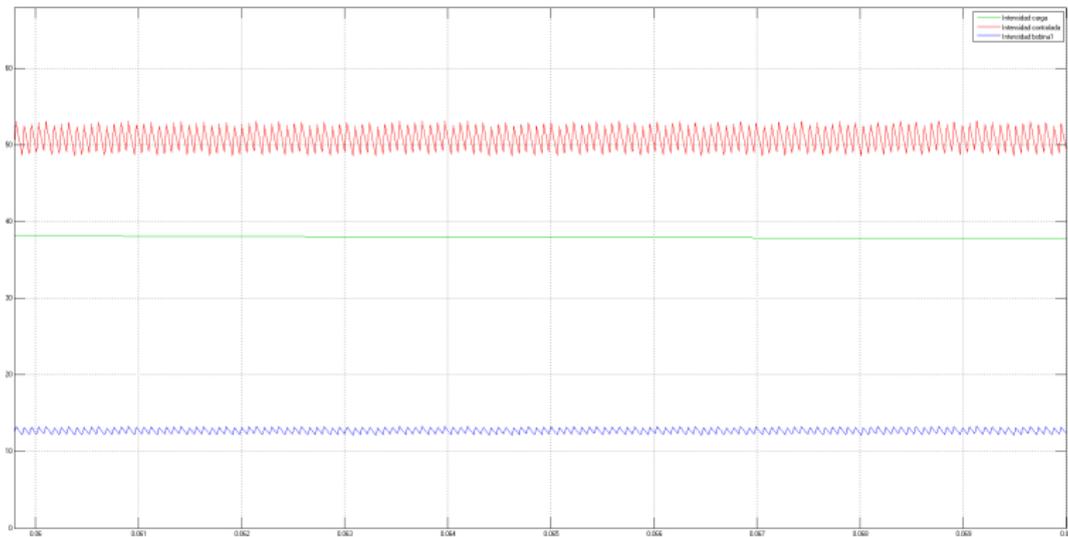


Figura: Imagen Ampliada Corriente resultante control a 50A

# Resultados Simulación Sistema Motor

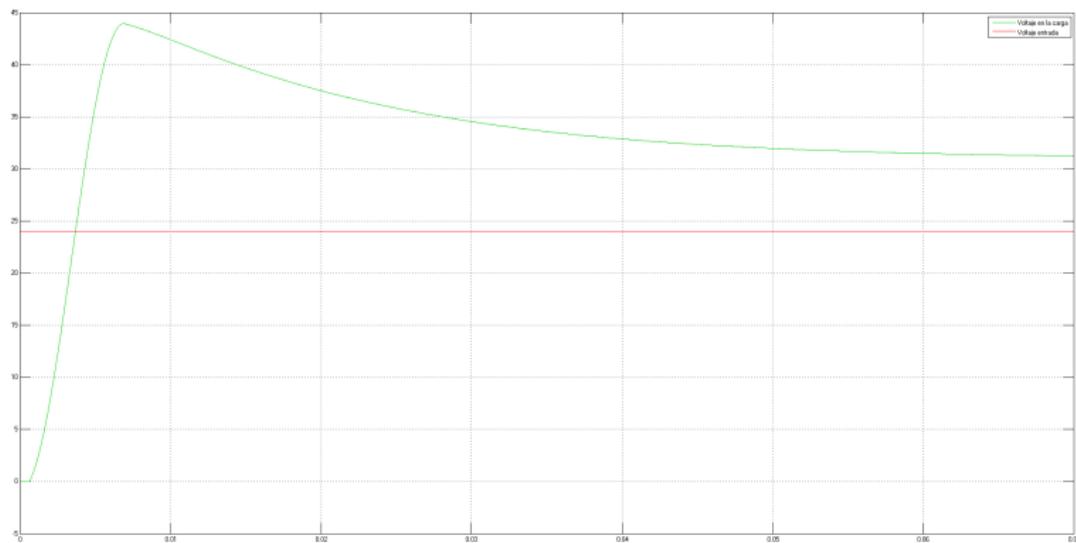


Figura: Voltaje resultante control a 50A

# Resultados Simulación Sistema Motor

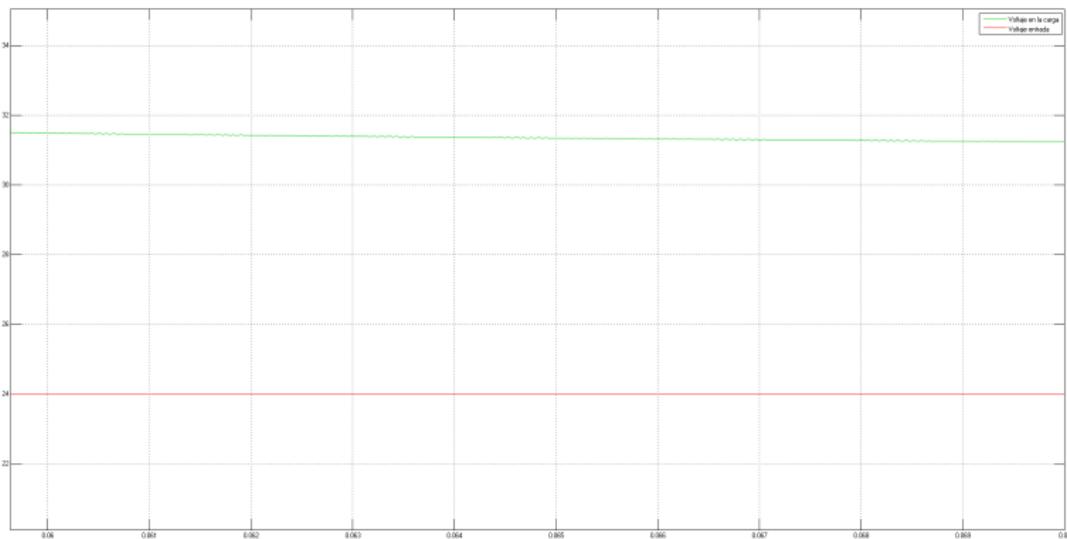


Figura: Imagen ampliada Voltaje resultante control a 50A

# Resultados Simulación Sistema Motor

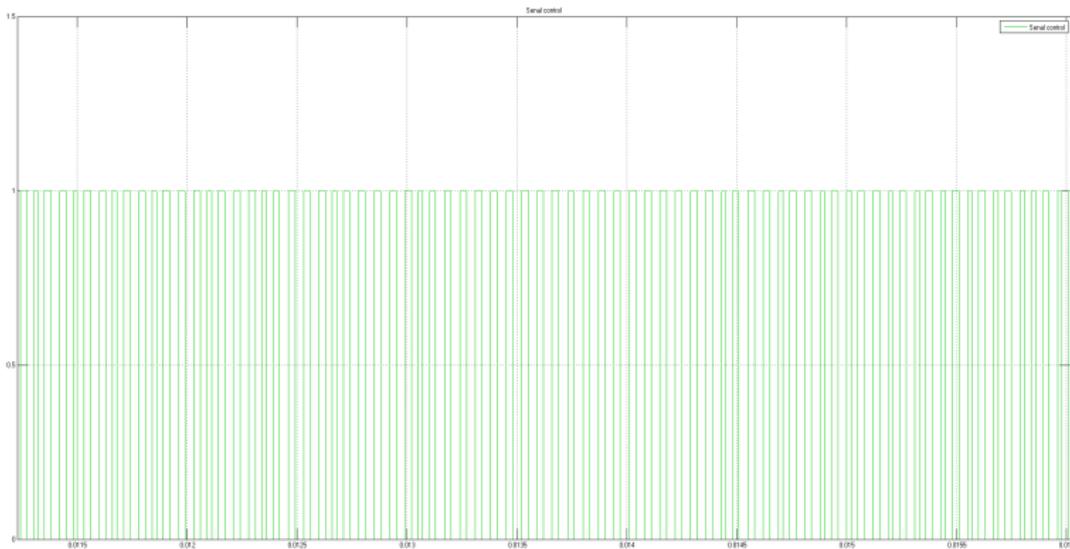


Figura: Señal de control a 50A

# Sistema de carga por freno regenerativo

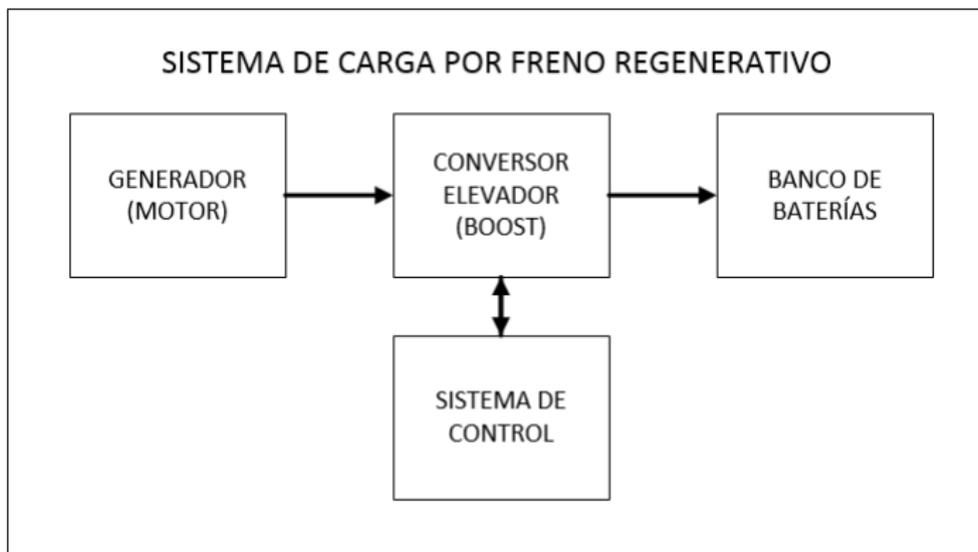


Figura: Diagrama Bloques Sistema de Carga por Freno Regenerativo

# Datos para el diseño del convertidor Boost sistema Freno regenerativo

- Tensión de entrada  $V_{IN} = 10V$
- Tensión de Salida  $V_O = 27V$
- Intensidad de Salida  $I_O = 10A$
- Frecuencia  $f_s = 50Khz$
- Rizado en el inductor  $\Delta I = 2A$
- Rizado de la tensión de salida menor a 1 %

# Valores resultantes del diseño del convertidor Sistema Freno Regenerativo

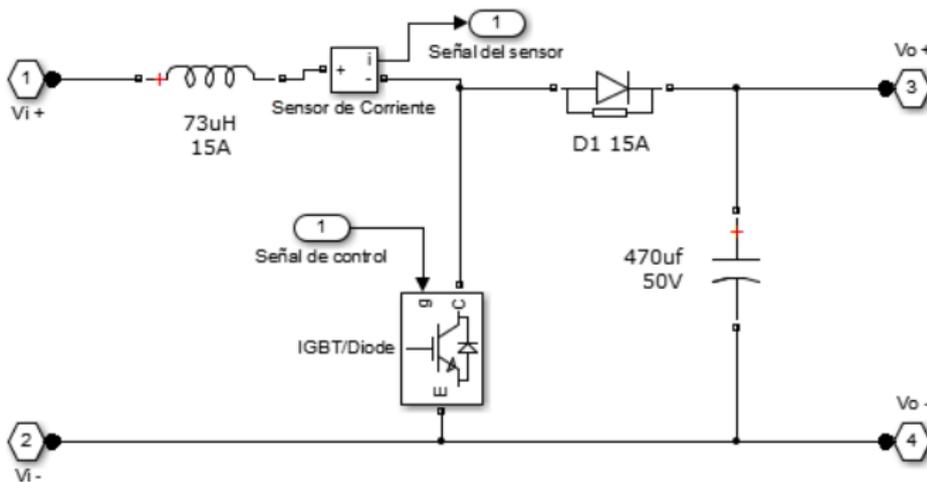


Figura: Convertidor Boost sistema Freno regenerativo

# Diagrama de flujo del control Deslizante Sistema Freno Regenerativo

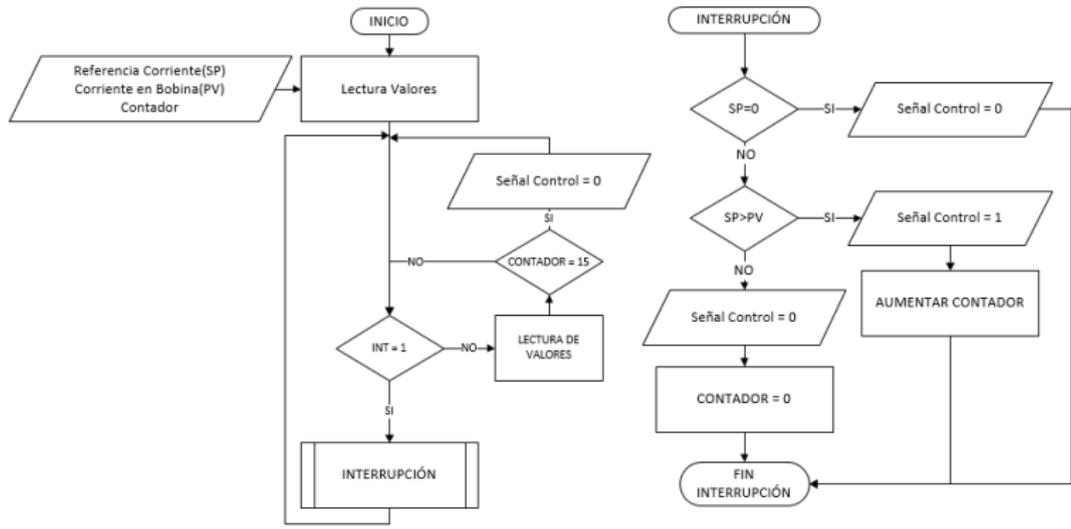


Figura: Diagrama Flujo de Operación en Modo Deslizante Sistema Freno Regenerativo

# Líneas de código del controlador en modo Deslizante para el Sistema de freno regenerativo

```
// Fcuadrada=50khz
UB_TIMER2_Init(19,41);
// Timer2 starten
UB_TIMER2_Start();

UB_ADC2_DMA_Init(); // Init vom ADC2 im DMA-Mode
UB_Led_On(LED_GREEN); // grueene LED einschalten

while(1)
{
    il_pv = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA0); //leo senal sensor corriente
    il_sp = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA1); // leo set point
    if(cont>=15){GPIOA->BRR = GPIO_Pin_5;} // reseteo a 0 senal de control
}

void UB_TIMER2_ISR_CallBack(void){
    if(il_sp==0)//il_sp
    {
        GPIOA->BRR = GPIO_Pin_5;
    }
    else
    {
        if((il_pv>il_sp)) //control=0
        {
            GPIOA->BRR = GPIO_Pin_5;
            cont=0;
        }
        else
        {
            cont++;
            GPIOA->BSRR = GPIO_Pin_5; //control=1
        }
    }
}
```

Figura: Líneas de código del control freno regenerativo

# Sistema de carga por Paneles Solares

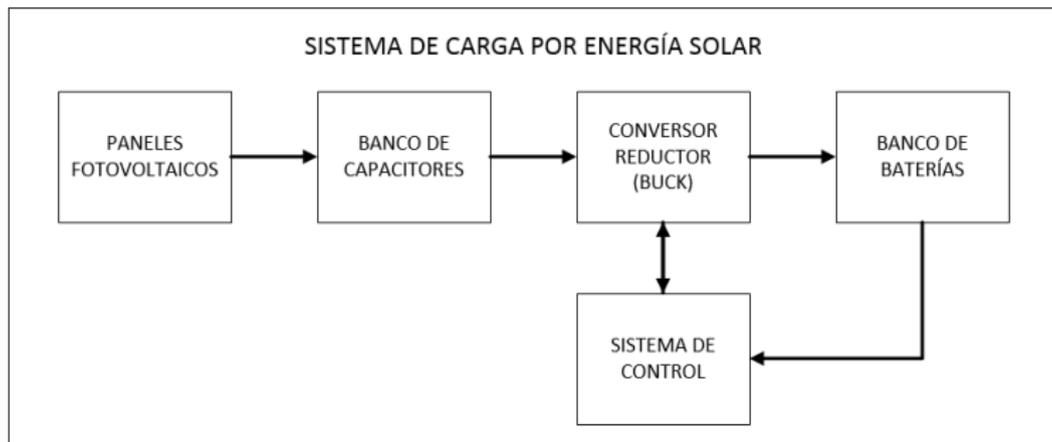


Figura: Diagrama Bloques Sistema de Carga por Paneles Solares

# Datos para el diseño del convertidor Buck sistema Carga Panel Solar

- Voltaje de entrada  $V_{IN} = 44V$
- Voltaje de salida  $V_O = 27V$
- Intensidad de salida  $I_O = 10A$
- Frecuencia  $f_S = 50KHz$
- Rizado en el inductor  $\Delta I = 0,5A$
- Rizado en tensión de salida no mayor a 0.5 %
- Carga  $R = 5\Omega$

# Valores resultantes del diseño del convertidor Buck sistema Carga Panel Solar

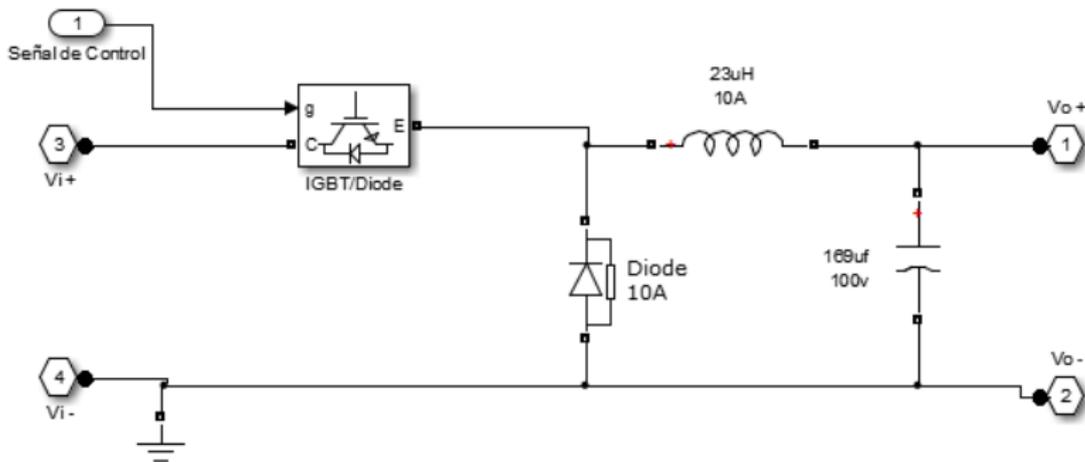


Figura: Convertidor Buck sistema Carga Panel Solar

# Diagrama de flujo del control Deslizante Sistema Carga Panel Solar

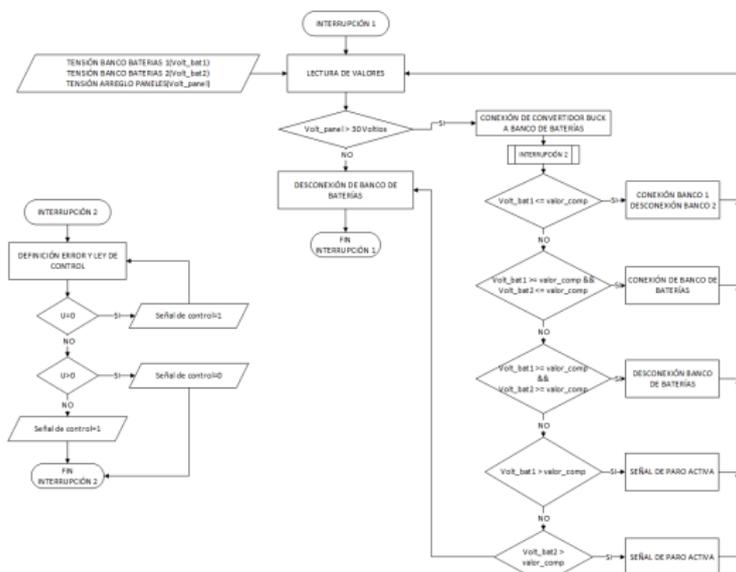


Figura: Diagrama Flujo de Operación en Modo Deslizante Sistema Carga Panel Solar

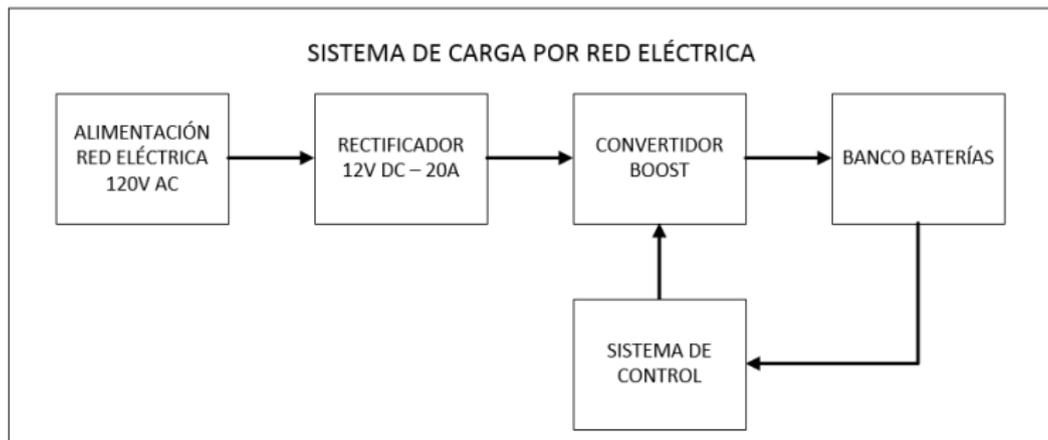
# Líneas de código del controlador en modo Deslizante para el Sistema de Carga Solar

```
while(stop1!=1)
{
    sp_volt = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA0); //leo set point de voltaje
    volt_out = UB_ADC2_DMA_Read(ADC_PA1); //leo voltaje de salida del buck
    if ((volt_bat1 <= valor_comp)|| (volt_bat2 <= valor_comp)){
        band1=0;
        }if((stop1==1)&&(stop2==1)){
            stop1;
            UB_TIMER3_Stop();
            UB_TIMER2_Stop();}
}

/*Interrupción 1*/
void UB_TIMER2_ISR_Callback(void)
{
    UB_Led_Toggle(LED_BLUE);
    err=sp_volt-volt_out;
    u=err*(k1+1)-(k1*ek1);
    ek1=err;
    if(u==0)
    {
        GPIOD->BSRRL = GPIO_Pin_11; //control=0
    }
    else
    {
        if((u>0))
        {
            GPIOD->BSRRH = GPIO_Pin_11; //control=1
        }
        else
        {
            GPIOD->BSRRL= GPIO_Pin_11; //control=0
        }
    }
}
```

Figura: Líneas de código del control de carga Solar

# Sistema de carga por Red Eléctrica



**Figura:** Diagrama Bloques Sistema de Carga por Red Eléctrica

# Datos para el diseño del convertidor Boost sistema Carga Red Eléctrica

- Tensión de entrada  $V_{IN} = 12V$
- Tensión de Salida  $V_O = 27V$
- Intensidad de Salida  $I_O = 2A$
- Frecuencia  $f_s = 25Khz$
- Rizado en el inductor  $\Delta I = 0,7A$
- Rizado de la tensión de salida menor a 1 %

# Valores resultantes del diseño del convertidor Boost sistema Carga Red Eléctrica

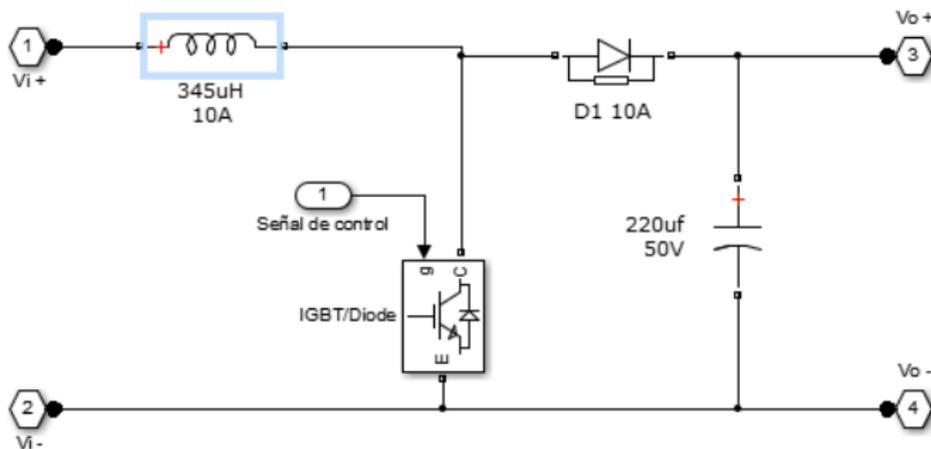


Figura: Convertidor Boost Sistema Red Eléctrica

# Diagrama de flujo del control PWM Sistema Carga Red Eléctrica

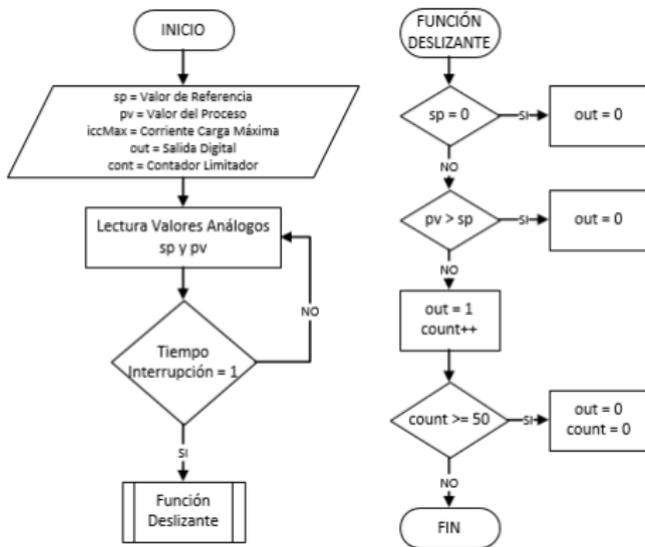


Figura: Diagrama Flujo de Operación en Modo PWM Carga Red Eléctrica

# Diagrama Bloques de los Sistemas de Carga y Control.

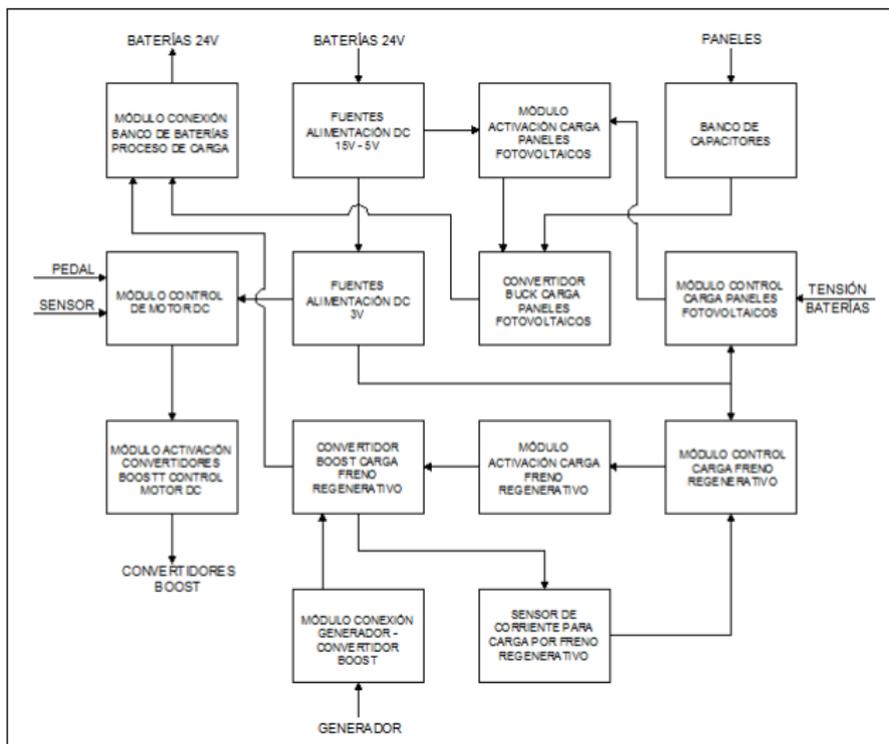


Figura: Esquema de Distribución de los Sistemas de Carga y Control



Figura: Fotografía de los sistemas de Carga y Control.

# Sistema para Control de Motor DC

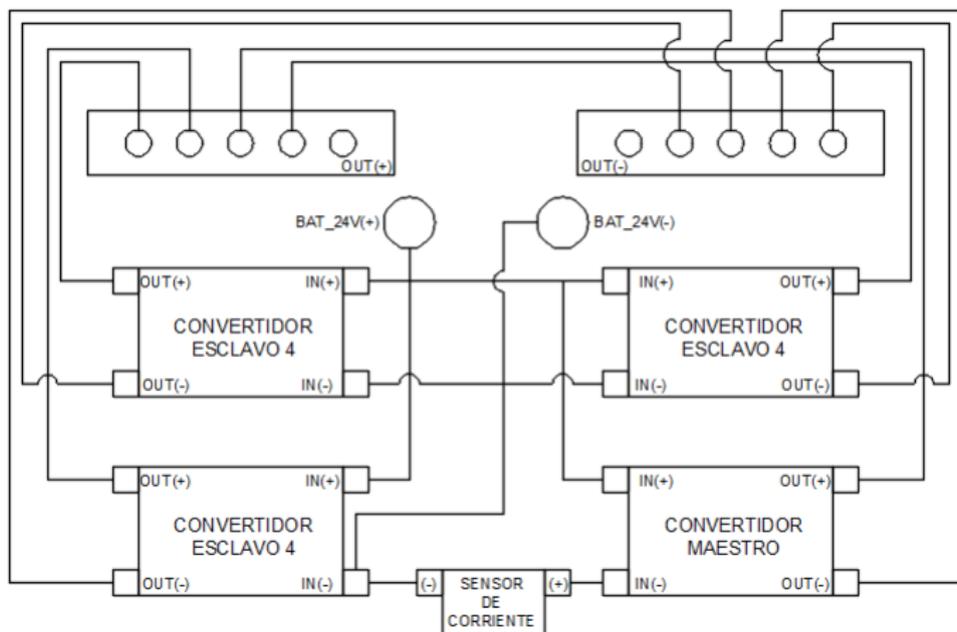


Figura: Esquema de Distribución - Banco de Convertidores Boost



Figura: Fotografía Banco de Convertidores Boost

# Sistemas para Carga de Banco de Baterías por Paneles Solares



Figura: Instalación Física de Paneles Fotovoltaicos

# Sistemas para Carga de Banco de Baterías por Paneles Solares

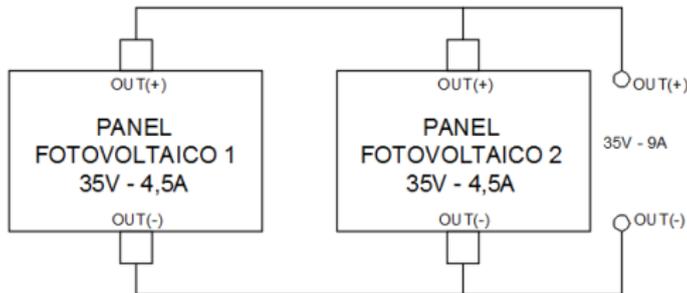


Figura: Conexión en paralelo de los paneles.

# Sistemas para Carga de Banco de Baterías por Paneles Solares

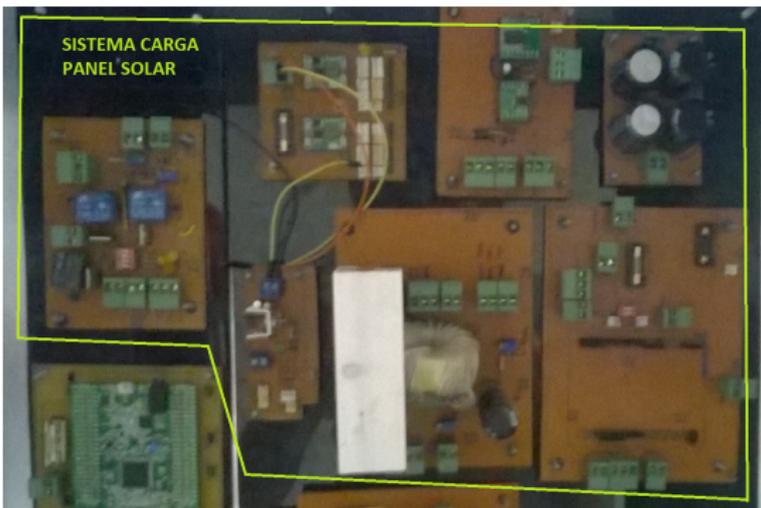


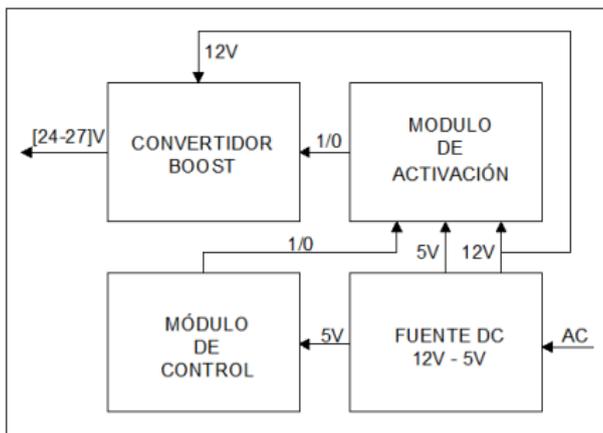
Figura: Instalación Física de Placas Sistema Carga Solar

# Carga con Frenado Regenerativo



**Figura:** Implementación Física de Sistema de Carga por Freno Regenerativo

# Carga con Red Eléctrica Pública



**Figura:** Esquema Distribución de Módulos en Sistema Carga por Red Eléctrica

# Carga con Red Eléctrica Pública



Figura: Fuente Conmutada 12V - 250W

# Carga con Red Eléctrica Pública

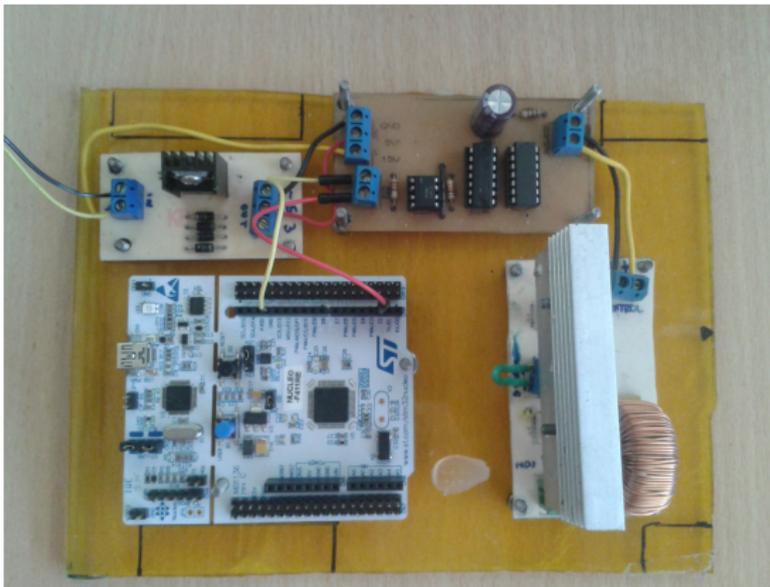


Figura: Implementación Física de Sistema de Carga por Red Eléctrica

# Equipos y Sistema de Monitoreo

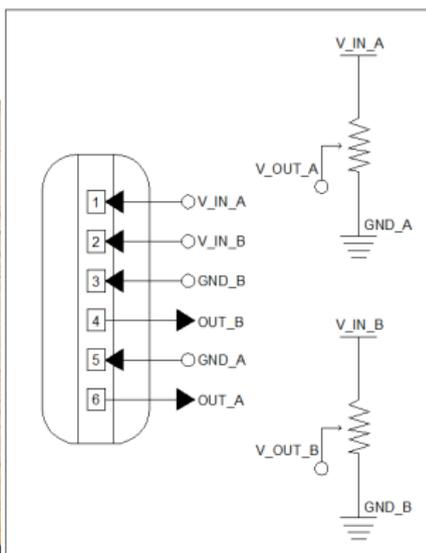


Figura: Pedal de Acelerador Electrónico

# Elementos de Iluminación



Figura: Luces Delanteras y Traseras

# Tablero de Control y Visualización

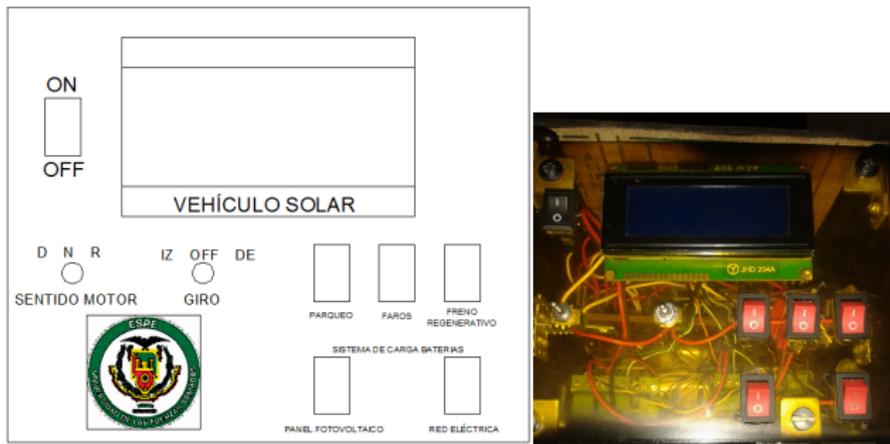


Figura: Distribución elementos en Panel de Control

# Sistema para Control de Motor DC

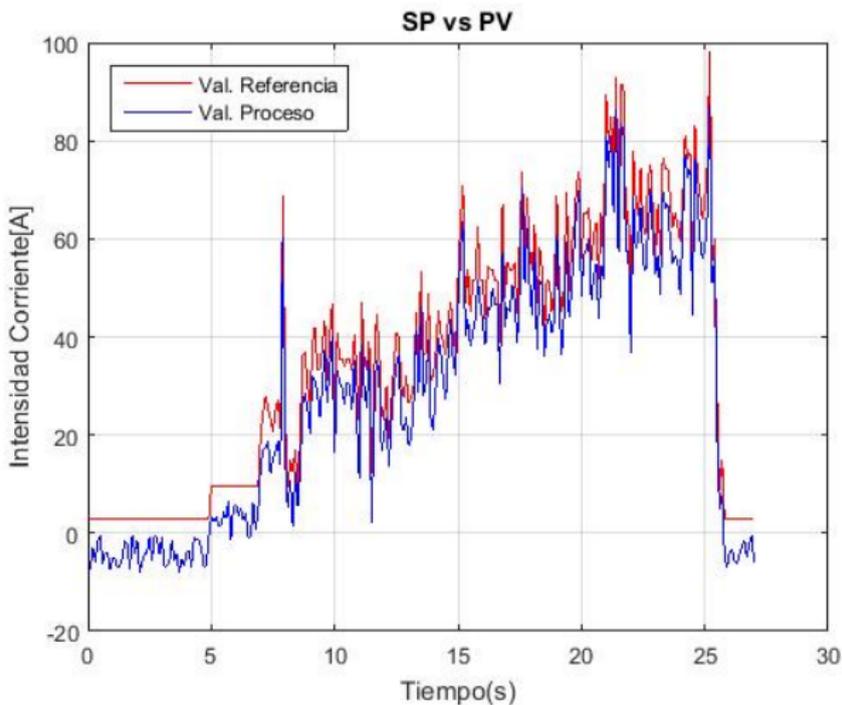


Figura: Respuesta en Intensidad de Corriente - Control para Motor DC

# Sistema para Control de Motor DC

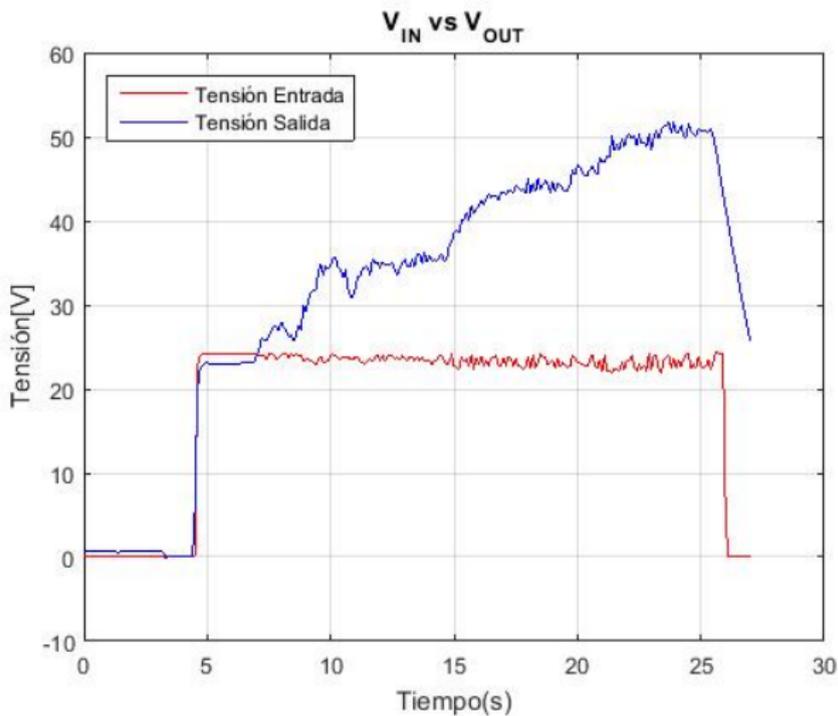


Figura: Respuesta en Tensión - Control para Motor DC

# Análisis de Eficiencia

VALORES SIMULADOS				$\eta$
$V_{IN}$ [V]	$V_{OUT}$ [V]	$I_{IN}$ [A]	$I_{OUT}$ [A]	
24.00	32.00	27.05	16.00	0.87
24.00	32.25	29.78	17.80	0.84
24.00	33.37	29.39	19.39	0.91
24.00	43.49	49.43	24.85	0.91
24.00	49.89	56.78	25.89	0.95

VALORES SIMULADOS				$\eta$
$V_{IN}$ [V]	$V_{OUT}$ [V]	$I_{IN}$ [A]	$I_{OUT}$ [A]	
24.00	32.00	27.05	16.00	0.87
24.00	32.25	29.78	17.80	0.84
24.00	33.37	29.39	19.39	0.91
24.00	43.49	49.43	24.85	0.91
24.00	49.89	56.78	25.89	0.95

Cuadro: Valores Reales - Simulados Control Motor DC

# Análisis de Eficiencia

$\eta_{REAL}$	$\eta_{SIM}$	$\xi$ [%]
0.83	0.87	4,5
0.85	0.84	1.2
0.90	0.91	1.0
0.91	0.91	0
0.92	0.95	3.1

**Cuadro:** Error Relativo de Eficiencia en Convertidores Boost para Alimentación de Motor DC

# Sistema para Control Freno Regenerativo

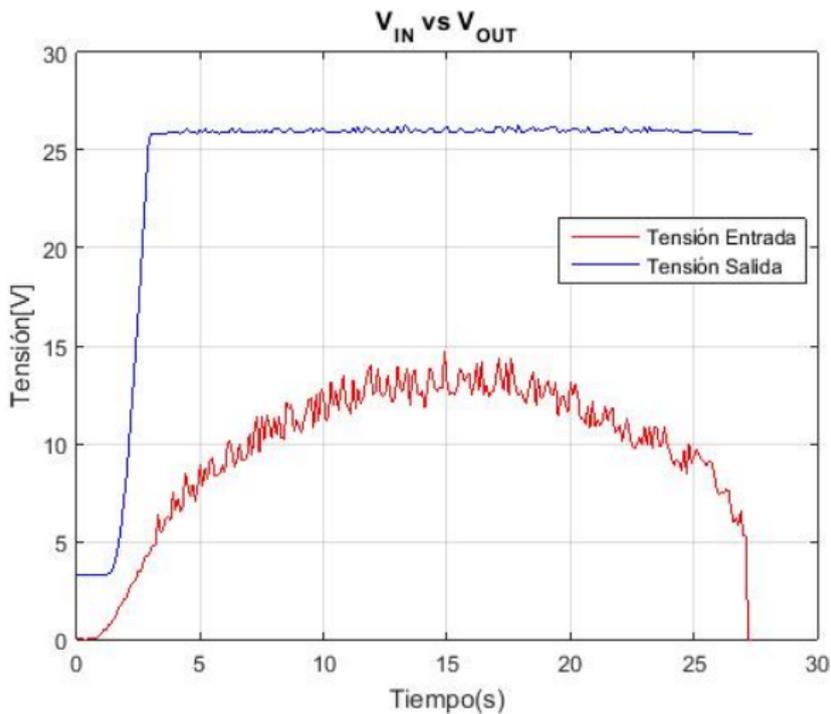


Figura: Respuesta en Tensión - Control para Sist. Carga Freno Regenerativo

# Sistema para Control Carga por Paneles Fotovoltaicos

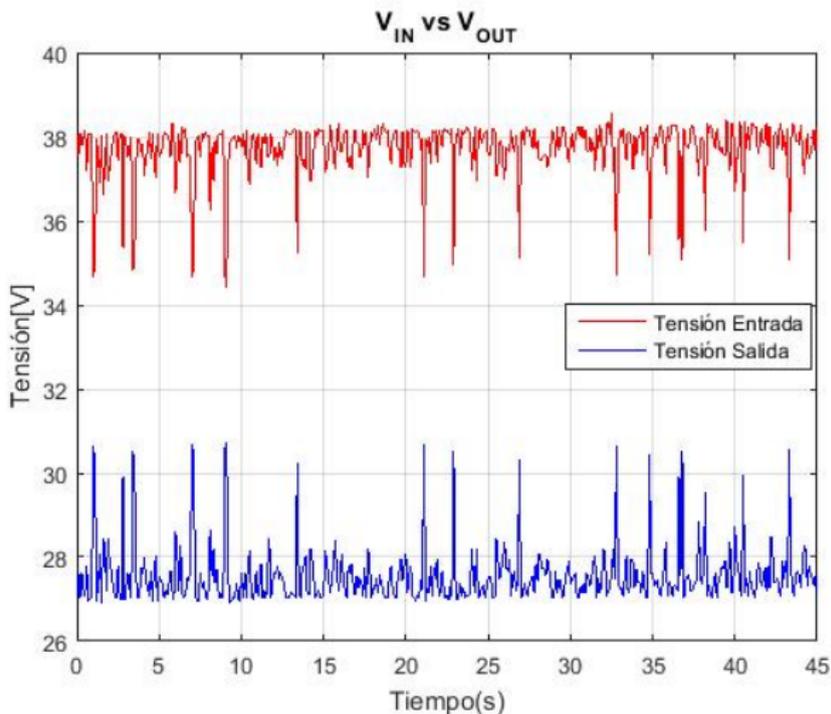


Figura: Respuesta en Tensión - Control para Sist. Carga por Paneles Fotovoltaicos

# Sistema para Control Carga por Paneles Fotovoltaicos

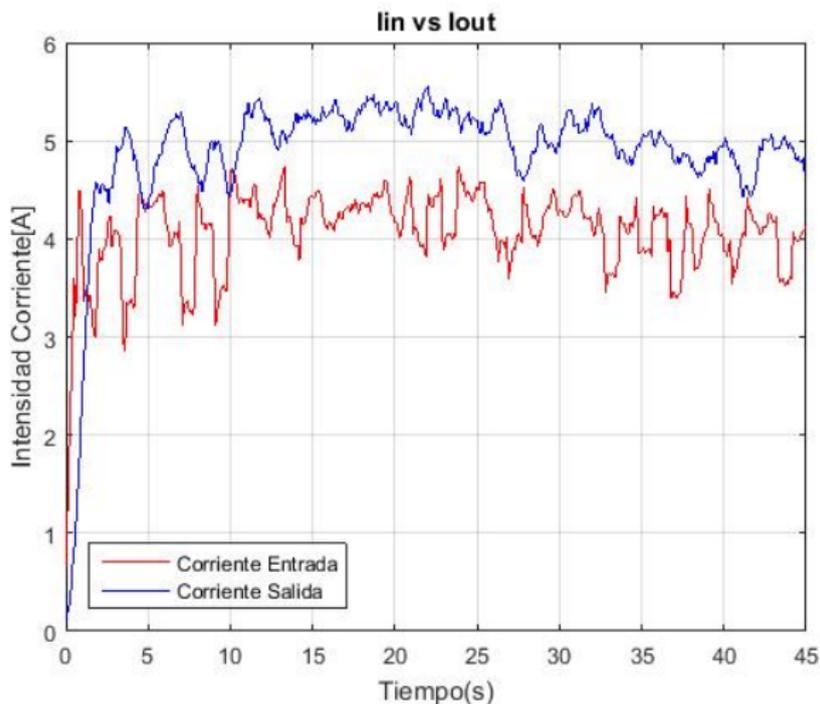


Figura: Respuesta en Intensidad de Corriente - Control para Sist. Carga por Paneles Fotovoltaicos

# Sistema para Control Carga por Red Eléctrica

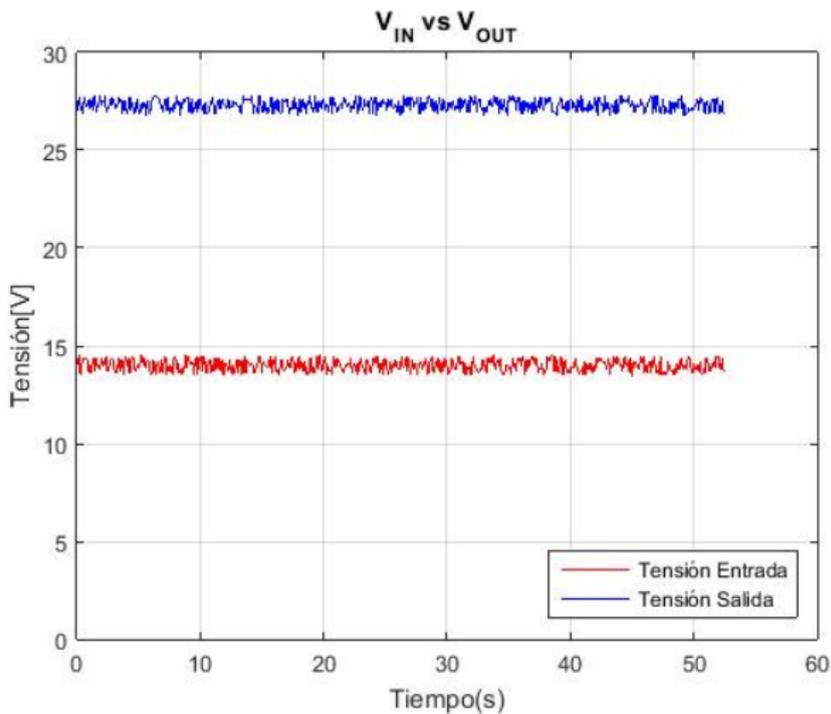


Figura: Respuesta en Tensión - Control para Sist. Carga por Red Eléctrica

# Sistema para Control Carga por Red Eléctrica

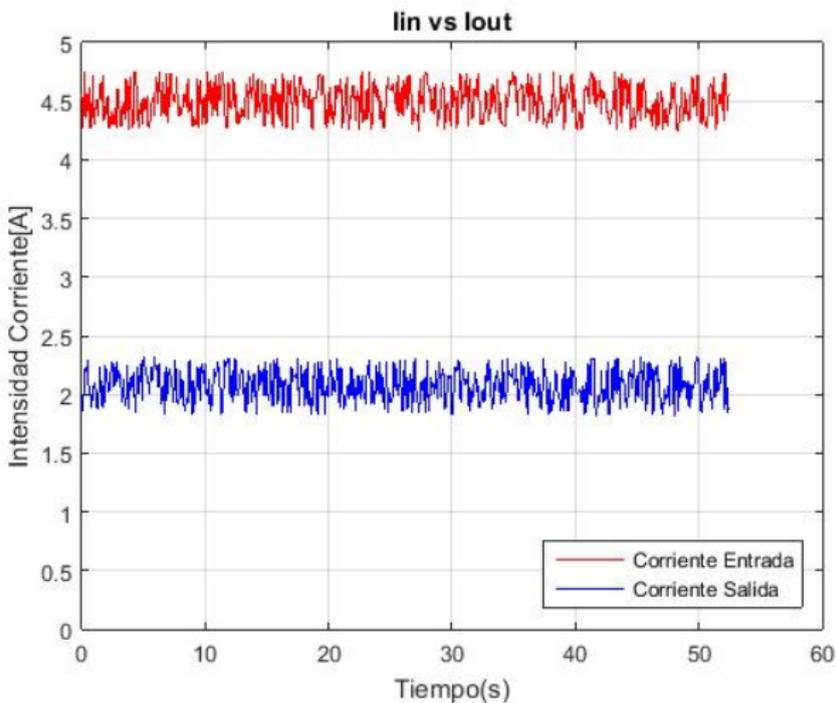


Figura: Respuesta en Intensidad de Corriente - Control para Sist. Carga por Red Eléctrica

# Conclusiones

El uso de una topología en paralelo de convertidores elevadores (*boost*), ha permitido el manejo de tensión e intensidad de corriente eléctrica en una mayor cantidad, lo que reduce las pérdidas por calor en los elementos usados como llaves de conmutación y costos por elementos en la construcción de convertidores, ya que es necesario elementos con características reducidas en sus valores nominales de funcionamiento y que procesos de medición de intensidad de corriente no sean difíciles gracias al manejo de un convertidor maestro, cuya finalidad fue la controlar el ciclo de trabajo de los transistores.

# Conclusiones

El uso de una topología en paralelo de convertidores elevadores (*boost*), ha permitido el manejo de tensión e intensidad de corriente eléctrica en una mayor cantidad, lo que reduce las pérdidas por calor en los elementos usados como llaves de conmutación y costos por elementos en la construcción de convertidores, ya que es necesario elementos con características reducidas en sus valores nominales de funcionamiento y que procesos de medición de intensidad de corriente no sean difíciles gracias al manejo de un convertidor maestro, cuya finalidad fue la controlar el ciclo de trabajo de los transistores.

# Conclusiones

El uso de baterías secas ha permitido que el tiempo de autonomía del vehículo sea mayor, ya que el tiempo de descarga se ve reducido ante la robustez de las baterías para soportar altas corrientes de arranque y que las mismas no reduzcan de manera abrupta la energía que pueda otorgar un banco.

# Conclusiones

El uso de baterías secas ha permitido que el tiempo de autonomía del vehículo sea mayor, ya que el tiempo de descarga se ve reducido ante la robustez de las baterías para soportar altas corrientes de arranque y que las mismas no reduzcan de manera abrupta la energía que pueda otorgar un banco.

# Conclusiones

El uso de energías renovables para desarrollar sistemas de carga sobre un banco de baterías, permite que energías que se encuentran de modo natural o producido en el ambiente que nos rodea como lo es la radiación solar y el flujo electromagnético sean aprovechadas para actividades de conversión de energía mediante el uso de convertidores dc-dc, de este modo se ha logrado reutilizar la energía eléctrica y tener la capacidad de almacenarla para un posterior uso en una actividad como la movilidad.

# Conclusiones

El uso de energías renovables para desarrollar sistemas de carga sobre un banco de baterías, permite que energías que se encuentran de modo natural o producido en el ambiente que nos rodea como lo es la radiación solar y el flujo electromagnético sean aprovechadas para actividades de conversión de energía mediante el uso de convertidores dc-dc, de este modo se ha logrado reutilizar la energía eléctrica y tener la capacidad de almacenarla para un posterior uso en una actividad como la movilidad.

# Conclusiones

Mantener el movimiento de un vehículo depende de manera indirecta del uso de buenas técnicas de control sobre los sistemas que componen el vehículo, razón por la cual técnicas como la de modos deslizantes sobre cargas ligeras (motor dc, baterías), ha permitido que la mayor cantidad de energía necesaria para alimentar dichas cargas sea usada de una mejor manera, reduciendo perdidas en calor por procesos de conmutación indebidos o llevados a períodos poco eficaces de activación.

# Conclusiones

Mantener el movimiento de un vehículo depende de manera indirecta del uso de buenas técnicas de control sobre los sistemas que componen el vehículo, razón por la cual técnicas como la de modos deslizantes sobre cargas ligeras (motor dc, baterías), ha permitido que la mayor cantidad de energía necesaria para alimentar dichas cargas sea usada de una mejor manera, reduciendo perdidas en calor por procesos de conmutación indebidos o llevados a períodos poco eficaces de activación.

# Conclusiones

Los errores cometidos en la fase de pruebas sobre el convertidor elevador que alimenta al motor se deben a la inestabilidad de la señal de referencia ya que se la obtiene de un elemento mecánico (pedal acelerador) activado por fuerza humana, lo que ha provocado que la ley de control tenga que cambiar rápidamente, logrando así que la toma de datos no pueda ser realizada con precisión.

# Conclusiones

Los errores cometidos en la fase de pruebas sobre el convertidor elevador que alimenta al motor se deben a la inestabilidad de la señal de referencia ya que se la obtiene de un elemento mecánico (pedal acelerador) activado por fuerza humana, lo que ha provocado que la ley de control tenga que cambiar rápidamente, logrando así que la toma de datos no pueda ser realizada con precisión.

# Recomendaciones

El uso de un dispositivo maestro, permite que los procesos de control se realicen de una manera más rápida, sin embargo es recomendable el uso del menor número de elementos esclavos ya que el espacio ocupado para su implementación resulta una limitante, además de que el coste de construcción aumentaría si el número de elementos es alto.

# Recomendaciones

El uso de un dispositivo maestro, permite que los procesos de control se realicen de una manera más rápida, sin embargo es recomendable el uso del menor número de elementos esclavos ya que el espacio ocupado para su implementación resulta una limitante, además de que el coste de construcción aumentaría si el número de elementos es alto.

# Recomendaciones

Usar elementos pasivos para la reducción de transientes en la activación de transistores o diodos rápidos, permite que convertidores no desperdicien energía en forma de calor, por lo que es de importancia el buen diseño de un circuito *snoober*.

# Recomendaciones

Usar elementos pasivos para la reducción de transientes en la activación de transistores o diodos rápidos, permite que convertidores no desperdicien energía en forma de calor, por lo que es de importancia el buen diseño de un circuito *snooper*.

# Recomendaciones

Los elementos de la etapa de control como son los microcontroladores se ven susceptibles a variaciones en la alimentación ya sea en su fuente de energización como en los módulos de lecturas digitales o análogas, por lo que se recomienda el uso de un sistema de energización independiente y procesos de opto acoplamiento para protección de los equipos.

# Recomendaciones

Los elementos de la etapa de control como son los microcontroladores se ven susceptibles a variaciones en la alimentación ya sea en su fuente de energización como en los módulos de lecturas digitales o análogas, por lo que se recomienda el uso de un sistema de energización independiente y procesos de opto acoplamiento para protección de los equipos.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA