

# IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR NEURONAL PARA UN BALASTRO ELECTRÓNICO COMPATIBLE CON LÁMPARAS HID - MH DE 250W

Autores:

Andino Josué

Velasteguí Alexis

# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El adecuado control de la tensión y corriente en las lámparas HID es crucial para aprovechar las ventajas que estas proporcionan.

En el mercado hay una gran variedad de balastos. En la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se han implementado varios balastos, los que se describen en *“Control adaptativo de una lámpara HID - MH de 250W”* o en *“Diseño e implementación de un control Fuzzy para un balastro electrónico de una lámpara HID - MH”*.

El problema de control de las lámparas HID se debe a los cambios bruscos durante el encendido. El control neuronal es una solución, por la capacidad de controlar sistemas altamente no lineales, sin la necesidad de conocer un modelo matemático definido.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El adecuado control de la tensión y corriente en las lámparas HID es crucial para aprovechar las ventajas que estas proporcionan.

En el mercado hay una gran variedad de balastos. En la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se han implementado varios balastos, los que se describen en *“Control adaptativo de una lámpara HID - MH de 250W”* o en *“Diseño e implementación de un control Fuzzy para un balastro electrónico de una lámpara HID - MH”*.

El problema de control de las lámparas HID se debe a los cambios bruscos durante el encendido. El control neuronal es una solución, por la capacidad de controlar sistemas altamente no lineales, sin la necesidad de conocer un modelo matemático definido.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El adecuado control de la tensión y corriente en las lámparas HID es crucial para aprovechar las ventajas que estas proporcionan.

En el mercado hay una gran variedad de balastos. En la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se han implementado varios balastos, los que se describen en *“Control adaptativo de una lámpara HID - MH de 250W”* o en *“Diseño e implementación de un control Fuzzy para un balastro electrónico de una lámpara HID - MH”*.

El problema de control de las lámparas HID se debe a los cambios bruscos durante el encendido. El control neuronal es una solución, por la capacidad de controlar sistemas altamente no lineales, sin la necesidad de conocer un modelo matemático definido.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los proyectos mencionados anteriormente se han construido con tecnología Through Hole, al usar tecnología SMT los mismos dispositivos reducirían su tamaño, costos y velocidad de implementación.

Al ser un proyecto práctico e investigativo, se presenta como un gran aporte al Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los proyectos mencionados anteriormente se han construido con tecnología Through Hole, al usar tecnología SMT los mismos dispositivos reducirían su tamaño, costos y velocidad de implementación.

Al ser un proyecto práctico e investigativo, se presenta como un gran aporte al Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.





# ALCANCE

Se pretende optimizar y construir un balastro electrónico para lámparas HID - MH, a partir de los existentes en los laboratorios de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, con el fin de reducir el tamaño en aproximadamente un 60% haciendo uso de tecnología SMT. Se desarrollará también un algoritmo de control basado en redes neuronales artificiales, el que será implementado en un microcontrolador ARM.



# OBJETIVOS

Diseñar e implementar un controlador basado en redes neuronales artificiales para el control de tensión y corriente de una lámpara HID-MH (mercurio de alta intensidad de descarga), mediante el uso de tarjetas de adquisición de datos y controladores embebidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

- Reducir el tamaño del sistema mediante tecnologías SMT.
- Analizar el comportamiento del balastro electrónico.



# OBJETIVOS

Diseñar e implementar un controlador basado en redes neuronales artificiales para el control de tensión y corriente de una lámpara HID-MH (mercurio de alta intensidad de descarga), mediante el uso de tarjetas de adquisición de datos y controladores embebidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

- Reducir el tamaño del sistema mediante tecnologías SMT.
- Analizar el comportamiento del balastro electrónico.



# OBJETIVOS

Diseñar e implementar un controlador basado en redes neuronales artificiales para el control de tensión y corriente de una lámpara HID-MH (mercurio de alta intensidad de descarga), mediante el uso de tarjetas de adquisición de datos y controladores embebidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

- Reducir el tamaño del sistema mediante tecnologías SMT.
- Analizar el comportamiento del balastro electrónico.



# OBJETIVOS

- Definir los parámetros mínimos de desempeño a lograr.
- Seleccionar el modelo del controlador a utilizar basado en el comportamiento del sistema y los parámetros mínimos de desempeño.
- Diseñar e implementar el controlador.
- Realizar pruebas de desempeño del sistema controlado.



# OBJETIVOS

- Definir los parámetros mínimos de desempeño a lograr.
- Seleccionar el modelo del controlador a utilizar basado en el comportamiento del sistema y los parámetros mínimos de desempeño.
- Diseñar e implementar el controlador.
- Realizar pruebas de desempeño del sistema controlado.



# OBJETIVOS

- Definir los parámetros mínimos de desempeño a lograr.
- Seleccionar el modelo del controlador a utilizar basado en el comportamiento del sistema y los parámetros mínimos de desempeño.
- Diseñar e implementar el controlador.
- Realizar pruebas de desempeño del sistema controlado.



# OBJETIVOS

- Definir los parámetros mínimos de desempeño a lograr.
- Seleccionar el modelo del controlador a utilizar basado en el comportamiento del sistema y los parámetros mínimos de desempeño.
- Diseñar e implementar el controlador.
- Realizar pruebas de desempeño del sistema controlado.





# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO**
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## DEFINICIÓN:

Fuente de iluminación electroluminiscente, la iluminación se produce por acción de un campo eléctrico sobre un gas o material sólido.

Ventajas: tamaño reducido, bajo costo, eficiencia energética, prolongada vida útil, confiabilidad y versatilidad.

Durante el proceso de encendido las lámparas HID varían drásticamente en su impedancia. Necesita utilizar dispositivo limitador de corriente, conocido como balastro.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## DEFINICIÓN:

Fuente de iluminación electroluminiscente, la iluminación se produce por acción de un campo eléctrico sobre un gas o material sólido.

Ventajas: tamaño reducido, bajo costo, eficiencia energética, prolongada vida útil, confiabilidad y versatilidad.

Durante el proceso de encendido las lámparas HID varían drásticamente en su impedancia. Necesita utilizar dispositivo limitador de corriente, conocido como balastro.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## DEFINICIÓN:

Fuente de iluminación electroluminiscente, la iluminación se produce por acción de un campo eléctrico sobre un gas o material sólido.

Ventajas: tamaño reducido, bajo costo, eficiencia energética, prolongada vida útil, confiabilidad y versatilidad.

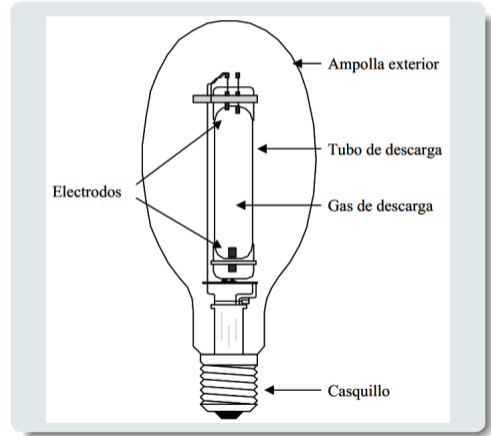
Durante el proceso de encendido las lámparas HID varían drásticamente en su impedancia. Necesita utilizar dispositivo limitador de corriente, conocido como balastro.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## COMPONENTES:

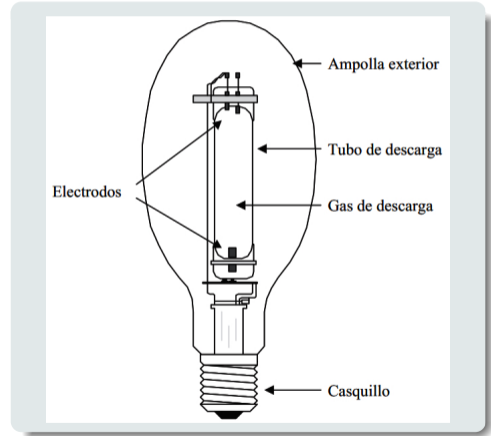
- **Ampolla exterior:** proteger del aire y temperatura, prevenir oxidación y filtro.
- **Tubo de descarga:** contiene gases y diferentes metales.
- **Electrodos y casquillo:** colocar tensión adecuada.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## COMPONENTES:

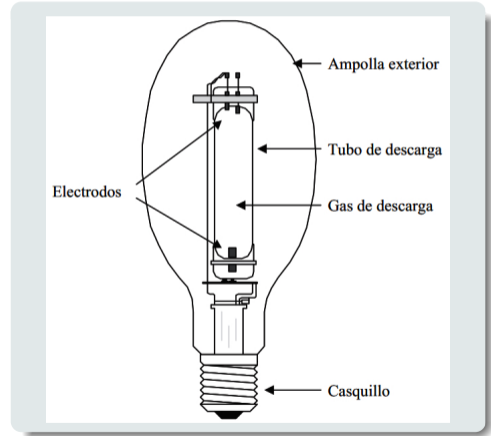
- **Ampolla exterior:** proteger del aire y temperatura, prevenir oxidación y filtro.
- **Tubo de descarga:** contiene gases y diferentes metales.
- **Electrodos y casquillo:** colocar tensión adecuada.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## COMPONENTES:

- **Ampolla exterior:** proteger del aire y temperatura, prevenir oxidación y filtro.
- **Tubo de descarga:** contiene gases y diferentes metales.
- **Electrodos y casquillo:** colocar tensión adecuada.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

Se basa en el fenómeno electrolumiscente.

Al inicio del encendido se utiliza un gas, fácil de ionizar a baja presión y temperatura.

Ionización calienta el tubo de descarga, evaporación progresiva de los metales.

Minutos después, evaporación total de metales y alcanza la estabilidad. Para volver encender esperar.





# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

Se basa en el fenómeno electrolumiscente.

Al inicio del encendido se utiliza un gas, fácil de ionizar a baja presión y temperatura.

Ionización calienta el tubo de descarga, evaporación progresiva de los metales.

Minutos después, evaporación total de metales y alcanza la estabilidad. Para volver encender esperar.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

Se basa en el fenómeno electrolumiscente.

Al inicio del encendido se utiliza un gas, fácil de ionizar a baja presión y temperatura.

Ionización calienta el tubo de descarga, evaporación progresiva de los metales.

Minutos después, evaporación total de metales y alcanza la estabilidad. Para volver encender esperar.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

Se basa en el fenómeno electrolumiscente.

Al inicio del encendido se utiliza un gas, fácil de ionizar a baja presión y temperatura.

Ionización calienta el tubo de descarga, evaporación progresiva de los metales.

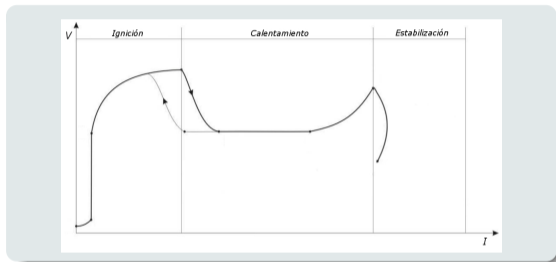
Minutos después, evaporación total de metales y alcanza la estabilidad. Para volver encender esperar.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## FASES DEL ENCENDIDO:

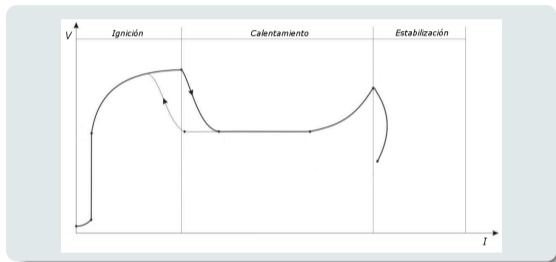
- **Ignición:** tensión e impedancia elevada.
- **Calentamiento:** corriente elevada e impedancia baja.
- **Estabilización:** impedancia estable y potencia fija.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## FASES DEL ENCENDIDO:

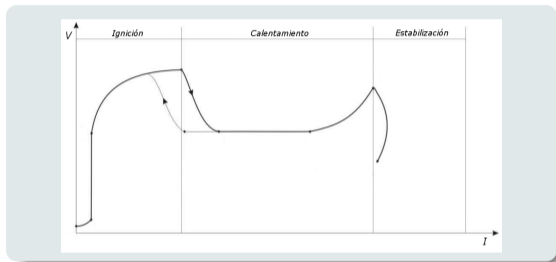
- **Ignición:** tensión e impedancia elevada.
- **Calentamiento:** corriente elevada e impedancia baja.
- **Estabilización:** impedancia estable y potencia fija.



# LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

## FASES DEL ENCENDIDO:

- **Ignición:** tensión e impedancia elevada.
- **Calentamiento:** corriente elevada e impedancia baja.
- **Estabilización:** impedancia estable y potencia fija.



# BALASTRO

## DEFINICIÓN:

Dispositivo limitador de corriente eléctrica.

- Proporcionar la tensión y corriente de ignición.
- Limitar la corriente eléctrica en las etapas del encendido.
- Estabilizar la corriente frente a variaciones en la alimentación.



# BALASTRO

## DEFINICIÓN:

Dispositivo limitador de corriente eléctrica.

- Proporcionar la tensión y corriente de ignición.
- Limitar la corriente eléctrica en las etapas del encendido.
- Estabilizar la corriente frente a variaciones en la alimentación.





# BALASTRO

## DEFINICIÓN:

Dispositivo limitador de corriente eléctrica.

- Proporcionar la tensión y corriente de ignición.
- Limitar la corriente eléctrica en las etapas del encendido.
- Estabilizar la corriente frente a variaciones en la alimentación.



## DEFINICIÓN:

Dispositivo limitador de corriente eléctrica.

- Proporcionar la tensión y corriente de ignición.
- Limitar la corriente eléctrica en las etapas del encendido.
- Estabilizar la corriente frente a variaciones en la alimentación.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## DEFINICIÓN:

Han mejorado notablemente la eficiencia de los sistemas de iluminación.

Proporcionar mayor rendimiento de la lámpara, disminuir pérdidas en el balastro, y la integración.

Frecuencias superiores a los  $20kHz$ , incrementa el flujo luminoso y reduce el tamaño de los elementos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## DEFINICIÓN:

Han mejorado notablemente la eficiencia de los sistemas de iluminación.

Proporcionar mayor rendimiento de la lámpara, disminuir pérdidas en el balastro, y la integración.

Frecuencias superiores a los  $20kHz$ , incrementa el flujo luminoso y reduce el tamaño de los elementos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## DEFINICIÓN:

Han mejorado notablemente la eficiencia de los sistemas de iluminación.

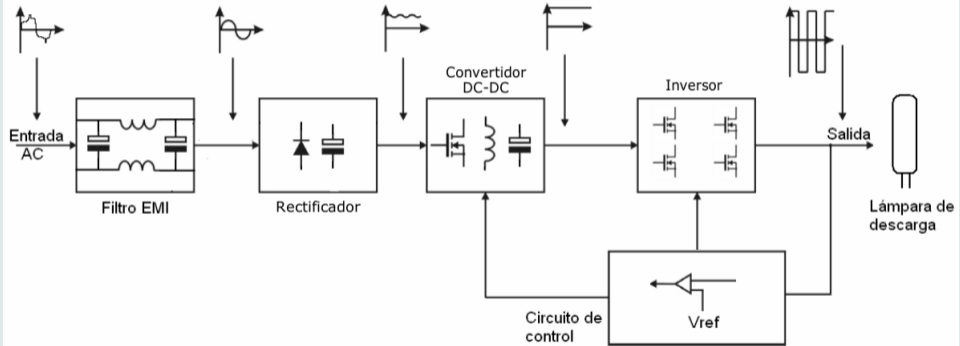
Proporcionar mayor rendimiento de la lámpara, disminuir pérdidas en el balastro, y la integración.

Frecuencias superiores a los  $20kHz$ , incrementa el flujo luminoso y reduce el tamaño de los elementos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

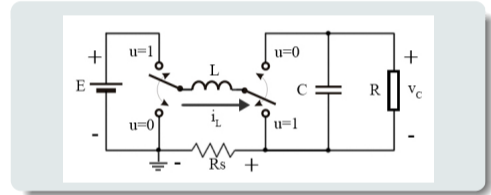
## COMPONENTES:



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## BUCK-BOOST NO INVERSOR

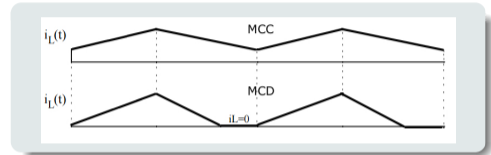
El convertidor Buck-Boost es una fuente conmutada DC-DC, tensión mayor o menor a la de la entrada, misma o diferente polaridad.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## BUCK-BOOST NO INVERSOR

El convertidor Buck-Boost tiene dos modos de funcionamiento, dependiendo de la continuidad de la corriente en la bobina. Si la corriente es siempre mayor a cero, se habla de (MCC), si en algún instante la corriente en la bobina se anula, se estará trabajando (MCD).





# BALASTRO ELECTRÓNICO

## BUCK-BOOST NO INVERSOR:

La representación en el espacio de estados del convertidor Buck-Boost, está dada por las variables de estado  $i_L$  y  $v_C$  conjuntamente con  $u$ .

La acción de control define diferentes estructuras del convertidor para  $u = 1$  y  $u = 0$ , sistema de estructura variable.

## ESPACIO DE ESTADOS BUCK-BOOST NO INVERSOR:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \frac{E}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u$$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## BUCK-BOOST NO INVERSOR:

La representación en el espacio de estados del convertidor Buck-Boost, está dada por las variables de estado  $i_L$  y  $v_C$  conjuntamente con  $u$ .

La acción de control define diferentes estructuras del convertidor para  $u = 1$  y  $u = 0$ , sistema de estructura variable.

## ESPACIO DE ESTADOS BUCK-BOOST NO INVERSOR:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \frac{E}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u$$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## BUCK-BOOST NO INVERSOR:

La representación en el espacio de estados del convertidor Buck-Boost, está dada por las variables de estado  $i_L$  y  $v_C$  conjuntamente con  $u$ .

La acción de control define diferentes estructuras del convertidor para  $u = 1$  y  $u = 0$ , sistema de estructura variable.

## ESPACIO DE ESTADOS BUCK-BOOST NO INVERSOR:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \frac{E}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u$$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

Alternativa para el control de sistemas de estructura variable.

Robustez al sistema ante variaciones de sus parámetros y perturbaciones externas.

El CMD basa su funcionamiento en definir una superficie de deslizamiento, alrededor de la que una variable de estado debe encontrarse.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

Alternativa para el control de sistemas de estructura variable.

Robustez al sistema ante variaciones de sus parámetros y perturbaciones externas.

El CMD basa su funcionamiento en definir una superficie de deslizamiento, alrededor de la que una variable de estado debe encontrarse.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

Alternativa para el control de sistemas de estructura variable.

Robustez al sistema ante variaciones de sus parámetros y perturbaciones externas.

El CMD basa su funcionamiento en definir una superficie de deslizamiento, alrededor de la que una variable de estado debe encontrarse.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Elección de la superficie de deslizamiento  $\sigma(X, t)$ .
- Existencia del régimen deslizante sobre  $\sigma(X, t)$ .
  - Ordenar el sistema  $\dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u$ .
  - Calcular  $u_{eq} = -\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot f(X, t) + \frac{\partial \sigma}{\partial t}}{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t)}$ .
- Condición de transversalidad  $\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t) \neq 0$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Elección de la superficie de deslizamiento  $\sigma(X, t)$ .
- Existencia del régimen deslizante sobre  $\sigma(X, t)$ .
  - Ordenar el sistema  $\dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u$ .
  - Calcular  $u_{eq} = -\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot f(X, t) + \frac{\partial \sigma}{\partial t}}{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t)}$ .
- Condición de transversalidad  $\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t) \neq 0$ .





# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Elección de la superficie de deslizamiento  $\sigma(X, t)$ .
- Existencia del régimen deslizante sobre  $\sigma(X, t)$ .
  - Ordenar el sistema  $\dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u$ .
  - Calcular  $u_{eq} = -\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot f(X, t) + \frac{\partial \sigma}{\partial t}}{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t)}$ .
- Condición de transversalidad  $\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X, t) \neq 0$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- El dominio de existencia  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ u^- < u_{eq} < u^+ \end{cases}$ .
- La dinámica deslizante ideal  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ \dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u_{eq} \end{cases}$ .
  - Cuando es no lineal, conviene linealizarla.
- Para analizar la estabilidad, se utiliza  $\sigma \cdot \dot{\sigma} < 0$ , de esta manera se obtiene  $u^-$  y  $u^+$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- El dominio de existencia  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ u^- < u_{eq} < u^+ \end{cases}$ .
- La dinámica deslizante ideal  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ \dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u_{eq} \end{cases}$ .
  - Cuando es no lineal, conviene linealizarla.
- Para analizar la estabilidad, se utiliza  $\sigma \cdot \dot{\sigma} < 0$ , de esta manera se obtiene  $u^-$  y  $u^+$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- El dominio de existencia  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ u^- < u_{eq} < u^+ \end{cases}$ .
- La dinámica deslizante ideal  $\begin{cases} \sigma(X, t) = 0 \\ \dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u_{eq} \end{cases}$ .
  - Cuando es no lineal, conviene linealizarla.
- Para analizar la estabilidad, se utiliza  $\sigma \cdot \dot{\sigma} < 0$ , de esta manera se obtiene  $u^-$  y  $u^+$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

El CMD para el convertidor se baso en el trabajo "*Control en modo deslizante aplicado a la generación de señal en convertidores conmutados DC/DC*" [Biel-1999].

- Superficie de deslizamiento  $\sigma = i_L - I_{ref}$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

El CMD para el convertidor se baso en el trabajo "*Control en modo deslizante aplicado a la generación de señal en convertidores conmutados DC/DC*" [Biel-1999].

- Superficie de deslizamiento  $\sigma = i_L - I_{ref}$ .



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Existencia del régimen deslizante  $\dot{X} = f(X, t) + g(X, t) \cdot u$

- $X = \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix}$

- $\dot{X} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix}$

- $f(X, t) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix}$

- $g(X, t) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{E}{L} \\ 0 \end{bmatrix}$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Cálculo del control equivalente  $u_{eq} = -\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot f(X,t) + \frac{\partial \sigma}{\partial t}}{\frac{\partial \sigma}{\partial X} \cdot g(X,t)}$ .

$$\blacksquare u_{eq} = -\frac{\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\frac{v_C}{L} \\ \frac{i_L}{C} - \frac{v_C}{R \cdot C} \end{bmatrix} + 0}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{E}{L} + \frac{v_C}{L} \\ -\frac{i_L}{C} \end{bmatrix}}$$

$$\blacksquare u_{eq} = \frac{v_C}{E + v_C}$$





# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Dinámica deslizante ideal 
$$\begin{cases} i_L - I_{ref} & = 0 \\ \frac{dv_C}{dt} & = \frac{1}{C} \left[ I_{ref} - I_{ref} \left( \frac{v_C}{E+v_C} \right) - \frac{v_C}{R} \right] \end{cases}$$

- Punto de equilibrio  $i_L = I_{ref}$  y  $v_C = V_C$

- $0 = \frac{1}{C} \left[ I_{ref} - I_{ref} \left( \frac{V_C}{E+V_C} \right) - \frac{V_C}{R} \right]$

- $0 = V_C^2 + E \cdot V_C - E \cdot I_{ref} \cdot R$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## CONTROL POR MODO DESLIZANTE (CMD):

- Dinámica deslizante ideal 
$$\begin{cases} i_L - I_{ref} = 0 \\ \frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C} \left[ I_{ref} - I_{ref} \left( \frac{v_C}{E+v_C} \right) - \frac{v_C}{R} \right] \end{cases}$$
- Punto de equilibrio  $i_L = I_{ref}$  y  $v_C = V_C$ 
  - $0 = \frac{1}{C} \left[ I_{ref} - I_{ref} \left( \frac{V_C}{E+V_C} \right) - \frac{V_C}{R} \right]$
  - $0 = V_C^2 + E \cdot V_C - E \cdot I_{ref} \cdot R$



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC:

Circuitos que generan tensión alterna a partir de un tensión continua.

- Necesita un conjunto de interruptores que puedan ser conectados y desconectados a una carga.
- Inversor DC-AC con puente H cuenta con cuatro interruptores que se activan de dos en dos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC:

Circuitos que generan tensión alterna a partir de un tensión continua.

- Necesita un conjunto de interruptores que puedan ser conectados y desconectados a una carga.
- Inversor DC-AC con puente H cuenta con cuatro interruptores que se activan de dos en dos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC:

Circuitos que generan tensión alterna a partir de un tensión continua.

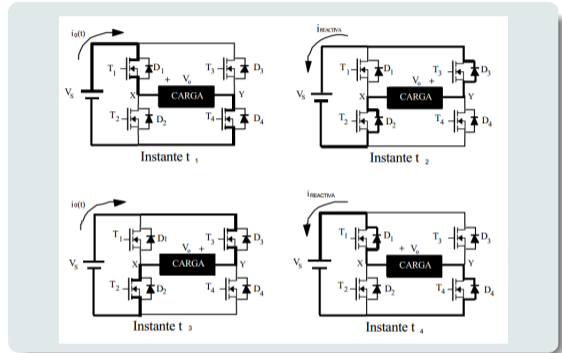
- Necesita un conjunto de interruptores que puedan ser conectados y desconectados a una carga.
- Inversor DC-AC con punte H cuenta con cuatro interruptores que se activan de dos en dos.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC

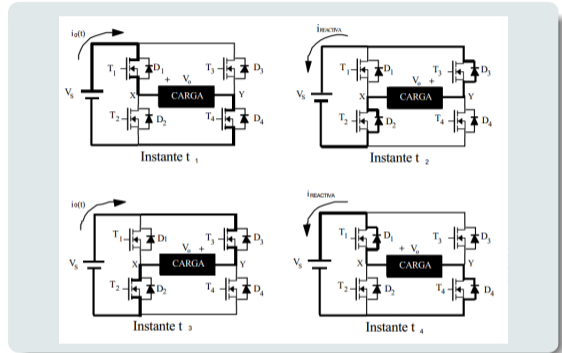
- Los interruptores se reemplaza con elementos semiconductores.
- Conectar diodos en antiparalelo para conducir corrientes reactivas.
- Colocar redes Snubber para reducir sobreimpulsos de tensión.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC

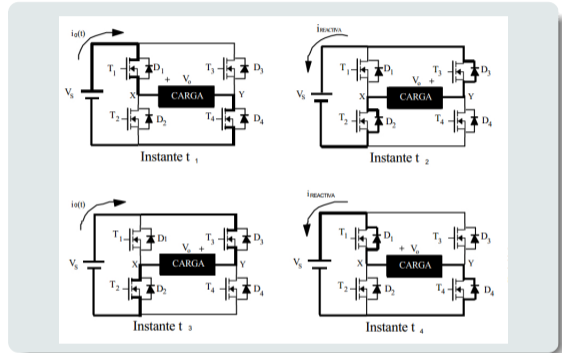
- Los interruptores se reemplaza con elementos semiconductores.
- Conectar diodos en antiparalelo para conducir corrientes reactivas.
- Colocar redes Snubber para reducir sobreimpulsos de tensión.



# BALASTRO ELECTRÓNICO

## INVERSOR DC-AC

- Los interruptores se reemplaza con elementos semiconductores.
- Conectar diodos en antiparalelo para conducir corrientes reactivas.
- Colocar redes Snubber para reducir sobreimpulsos de tensión.





# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## DEFINICIÓN:

Sistemas actuales, complejos, no lineales, variantes o invariantes, incertidumbre, dinámicas no modeladas, entre otros.

Para control de sistemas no lineales, se usa control inteligente.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), tipo de estructura matemática que se asemeja al modelo de una neurona orgánica. Ajusta sus parámetros mediante un algoritmo de aprendizaje, aproxima una función no lineal con exactitud.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## DEFINICIÓN:

Sistemas actuales, complejos, no lineales, variantes o invariantes, incertidumbre, dinámicas no modeladas, entre otros.

Para control de sistemas no lineales, se usa control inteligente.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), tipo de estructura matemática que se asemeja al modelo de una neurona orgánica. Ajusta sus parámetros mediante un algoritmo de aprendizaje, aproxima una función no lineal con exactitud.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## DEFINICIÓN:

Sistemas actuales, complejos, no lineales, variantes o invariantes, incertidumbre, dinámicas no modeladas, entre otros.

Para control de sistemas no lineales, se usa control inteligente.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), tipo de estructura matemática que se asemeja al modelo de una neurona orgánica. Ajusta sus parámetros mediante un algoritmo de aprendizaje, aproxima una función no lineal con exactitud.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## DEFINICIÓN:

Las RNA son elementos capaces de procesar gran cantidad de información paralela y distribuida.

Almacena conocimiento experimental y tenerlo disponible.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## DEFINICIÓN:

Las RNA son elementos capaces de procesar gran cantidad de información paralela y distribuida.

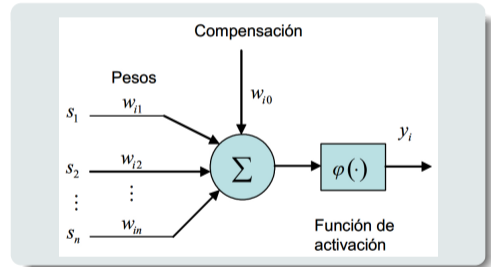
Almacena conocimiento experimental y tenerlo disponible.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## COMPONENTES

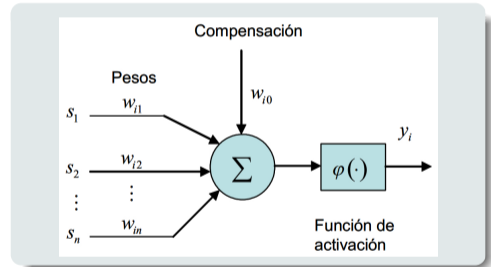
- Conjunto de uniones con un determinado peso.
- Un sumador.
- Una función de activación no lineal.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## COMPONENTES

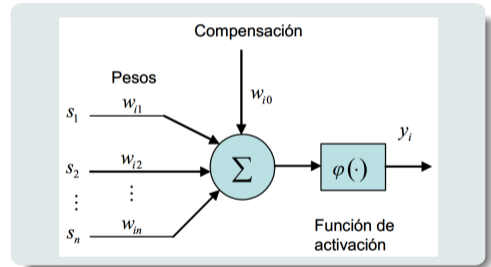
- Conjunto de uniones con un determinado peso.
- Un sumador.
- Una función de activación no lineal.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## COMPONENTES

- Conjunto de uniones con un determinado peso.
- Un sumador.
- Una función de activación no lineal.





# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

Modelar sistemas no lineales.

Relacionada con el valor de los pesos y la capacidad de reproducir el comportamiento del un sistema.

Estructura entrada-salida de la red neuronal para que sea la misma del sistema.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

Modelar sistemas no lineales.

Relacionada con el valor de los pesos y la capacidad de reproducir el comportamiento del un sistema.

Estructura entrada-salida de la red neuronal para que sea la misma del sistema.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

Modelar sistemas no lineales.

Relacionada con el valor de los pesos y la capacidad de reproducir el comportamiento del un sistema.

Estructura entrada-salida de la red neuronal para que sea la misma del sistema.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

### Estrategias

- Modelo serie paralelo: las salidas del sistema son entradas a la RNA, no existe recursividad, red neuronal estática.
- Modelo paralelo: las salidas pasadas son entradas de la RNA, existe recursividad, red neuronal dinámica.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

### Estrategias

- Modelo serie paralelo: las salidas del sistema son entradas a la RNA, no existe recursividad, red neuronal estática.
- Modelo paralelo: las salidas pasadas son entradas de la RNA, existe recursividad, red neuronal dinámica.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN IDENTIFICACIÓN:

### Estrategias

- Modelo serie paralelo: las salidas del sistema son entradas a la RNA, no existe recursividad, red neuronal estática.
- Modelo paralelo: las salidas pasadas son entradas de la RNA, existe recursividad, red neuronal dinámica.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

Características y propiedades importantes.

- Habilidad para aproximar mapeos no lineales.
- Procesamiento distribuido paralelo, mayor tolerancia a errores.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

Características y propiedades importantes.

- Habilidad para aproximar mapeos no lineales.
- Procesamiento distribuido paralelo, mayor tolerancia a errores.





# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

Características y propiedades importantes.

- Habilidad para aproximar mapeos no lineales.
- Procesamiento distribuido paralelo, mayor tolerancia a errores.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

- Mayor velocidad e incrementa las redes que se pueden utilizar.
- Aprendizaje y adaptación.
- Sistemas multivariable.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

- Mayor velocidad e incrementa las redes que se pueden utilizar.
- Aprendizaje y adaptación.
- Sistemas multivariable.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN CONTROL:

- Mayor velocidad e incrementa las redes que se pueden utilizar.
- Aprendizaje y adaptación.
- Sistemas multivariable.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## ESTRUCTURA DE CONTROL:

- En el control, la habilidad mas importante es la de modelar sistemas no lineales.
- Varias técnica y estructuras de control.
- Directa e indirecta.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## ESTRUCTURA DE CONTROL:

- En el control, la habilidad mas importante es la de modelar sistemas no lineales.
- Varias técnica y estructuras de control.
- Directa e indirecta.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## ESTRUCTURA DE CONTROL:

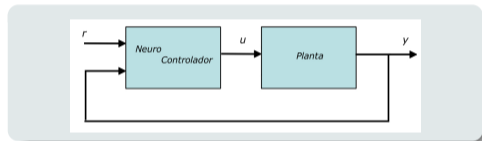
- En el control, la habilidad mas importante es la de modelar sistemas no lineales.
- Varias técnica y estructuras de control.
- Directa e indirecta.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## CONTROL DIRECTO

- Neuro-controlador es entrenado sin tomar en cuenta el modelo de la planta.
- Control por modelo inverso.

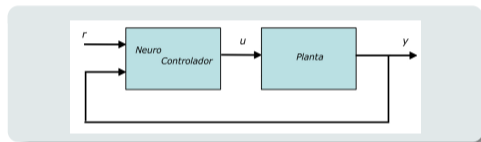




# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## CONTROL DIRECTO

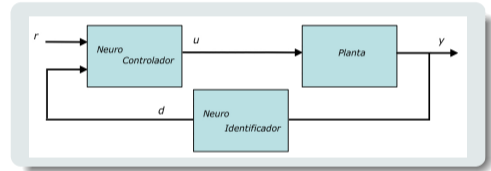
- Neuro-controlador es entrenado sin tomar en cuenta el modelo de la planta.
- Control por modelo inverso.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## CONTROL INDIRECTO

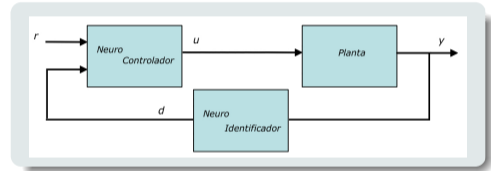
- Neuro-identificador estima el comportamiento de la planta.
- Neuro-controlador entrenado con datos del neuro-identificador.



# REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## CONTROL INDIRECTO

- Neuro-identificador estima el comportamiento de la planta.
- Neuro-controlador entrenado con datos del neuro-identificador.



# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Desarrollada en los 60, masifico en los 80 por IBM y Siemens

Los elementos fueron re-diseñaron, pequeños contactos metálicos, montaje directo sobre el circuito impreso.

Redujeron tamaño y uso de ambas caras.



# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Desarrollada en los 60, masifico en los 80 por IBM y Siemens

Los elementos fueron re-diseñaron, pequeños contactos metálicos, montaje directo sobre el circuito impreso.

Redujeron tamaño y uso de ambas caras.



# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Desarrollada en los 60, masifico en los 80 por IBM y Siemens

Los elementos fueron re-diseñaron, pequeños contactos metálicos, montaje directo sobre el circuito impreso.

Redujeron tamaño y uso de ambas caras.



# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Permite alto grado de automatización, reduce costos e incrementa la producción.

Elementos SMD tienen una cuarta a décima parte del peso through hole.

Cuestan entre un cuarto y la mitad.



# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Permite alto grado de automatización, reduce costos e incrementa la producción.

Elementos SMD tienen una cuarta a décima parte del peso through hole.

Cuestan entre un cuarto y la mitad.





# TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

## SMT

Permite alto grado de automatización, reduce costos e incrementa la producción.

Elementos SMD tienen una cuarta a décima parte del peso through hole.

Cuestan entre un cuarto y la mitad.



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA**
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analizarán las características de la lámpara a encender, así también los balastos electrónicos ya construidos en trabajos anteriores, como: *“Control adaptativo de una lámpara HID - MH de 250W”* o en *“Diseño e implementación de un control Fuzzy para un balastro electrónico de una lámpara HID - MH”* .



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia:  $250[W]$
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable:  $100[\Omega]$
- Corriente máxima:  $2,5[A]$
- Impedancia mínima:  $15[\Omega]$



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia: 250[W]
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable: 100[ $\Omega$ ]
- Corriente máxima: 2,5[A]
- Impedancia mínima: 15[ $\Omega$ ]



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia: 250[W]
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable: 100[ $\Omega$ ]
- Corriente máxima: 2,5[A]
- Impedancia mínima: 15[ $\Omega$ ]



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia: 250[W]
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable: 100[ $\Omega$ ]
- Corriente máxima: 2,5[A]
- Impedancia mínima: 15[ $\Omega$ ]



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia:  $250[W]$
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable:  $100[\Omega]$
- Corriente máxima:  $2,5[A]$
- Impedancia mínima:  $15[\Omega]$





# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Se toma en cuenta desde el proceso de ignición, hasta el proceso de calentamiento.

- Potencia:  $250[W]$
- Tensión de Ruptura:  $\approx 305[V]$
- Impedancia en Estado Estable:  $100[\Omega]$
- Corriente máxima:  $2,5[A]$
- Impedancia mínima:  $15[\Omega]$



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

En el estado estable se requiere:

- Tensión: 160[V]
- Corriente: 1,6[A]



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

En el estado estable se requiere:

- Tensión: 160[V]
- Corriente: 1,6[A]



# CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

En el estado estable se requiere:

- Tensión:  $160[V]$
- Corriente:  $1,6[A]$



# REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL BALASTRO

El balastro electrónico a diseñar está conformado por tres tipos de convertidores en cascada los cuales son:

- AC-DC: Rectificador de Onda Completa.
- DC-DC: Convertidor Buck-Boost no inversor.
- DC-AC: Puente H.



# REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL BALASTRO

El balastro electrónico a diseñar está conformado por tres tipos de convertidores en cascada los cuales son:

- AC-DC: Rectificador de Onda Completa.
- DC-DC: Convertidor Buck-Boost no inversor.
- DC-AC: Puente H.



# REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL BALASTRO

El balastro electrónico a diseñar está conformado por tres tipos de convertidores en cascada los cuales son:

- AC-DC: Rectificador de Onda Completa.
- DC-DC: Convertidor Buck-Boost no inversor.
- DC-AC: Puente H.



# REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL BALASTRO

El balastro electrónico a diseñar está conformado por tres tipos de convertidores en cascada los cuales son:

- AC-DC: Rectificador de Onda Completa.
- DC-DC: Convertidor Buck-Boost no inversor.
- DC-AC: Puente H.





# REQUERIMIENTOS DEL RECTIFICADOR AC-DC

Al ser un rectificador de onda completa conectado a una línea de 110[Vac], proporcionará una tensión pico de 170[Vdc] a la salida. Para estimar la corriente que va a circular por el rectificador, tomamos la siguiente ecuación:

- $\frac{P_o}{P_{in}} = \eta$

- $I_{in} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{in}}$

- $I_{in} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{250[W]}{170[V]} = 1,73[A]$

- $I_{in} \approx 2[A]$



# REQUERIMIENTOS DEL RECTIFICADOR AC-DC

Al ser un rectificador de onda completa conectado a una línea de 110[Vac], proporcionará una tensión pico de 170[Vdc] a la salida. Para estimar la corriente que va a circular por el rectificador, tomamos la siguiente ecuación:

- $\frac{P_o}{P_{in}} = \eta$

- $I_{in} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{in}}$

- $I_{in} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{250[W]}{170[V]} = 1,73[A]$

- $I_{in} \approx 2[A]$



# REQUERIMIENTOS DEL RECTIFICADOR AC-DC

Al ser un rectificador de onda completa conectado a una línea de 110[Vac], proporcionará una tensión pico de 170[Vdc] a la salida. Para estimar la corriente que va a circular por el rectificador, tomamos la siguiente ecuación:

- $\frac{P_o}{P_{in}} = \eta$

- $I_{in} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{in}}$

- $I_{in} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{250[W]}{170[V]} = 1,73[A]$

- $I_{in} \approx 2[A]$



# REQUERIMIENTOS DEL RECTIFICADOR AC-DC

Al ser un rectificador de onda completa conectado a una línea de 110[Vac], proporcionará una tensión pico de 170[Vdc] a la salida. Para estimar la corriente que va a circular por el rectificador, tomamos la siguiente ecuación:

- $\frac{P_o}{P_{in}} = \eta$

- $I_{in} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{in}}$

- $I_{in} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{250[W]}{170[V]} = 1,73[A]$

- $I_{in} \approx 2[A]$



# REQUERIMIENTOS DEL RECTIFICADOR AC-DC

Al ser un rectificador de onda completa conectado a una línea de 110[Vac], proporcionará una tensión pico de 170[Vdc] a la salida. Para estimar la corriente que va a circular por el rectificador, tomamos la siguiente ecuación:

- $\frac{P_o}{P_{in}} = \eta$
- $I_{in} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{in}}$
- $I_{in} = \frac{1}{0,85} \cdot \frac{250[W]}{170[V]} = 1,73[A]$
- $I_{in} \approx 2[A]$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-DC

## TENSIÓN EN EL CAPACITOR

La tensión máxima que el sistema debe proporcionar es superior a los  $305[V]$ , para el proceso de ignición de la lámpara, con lo cual el capacitor debe ser capaz de soportar una tensión mayor a esta.

## CORRIENTE EN LA INDUCTANCIA

Para hallar la corriente máxima que va a circular por la inductancia se tomara en cuenta el punto en el que la carga exija la mayor corriente, la cual es de  $2A$  a una tensión de  $100V$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-DC

## TENSIÓN EN EL CAPACITOR

La tensión máxima que el sistema debe proporcionar es superior a los  $305[V]$ , para el proceso de ignición de la lámpara, con lo cual el capacitor debe ser capaz de soportar una tensión mayor a esta.

## CORRIENTE EN LA INDUCTANCIA

Para hallar la corriente máxima que va a circular por la inductancia se tomara en cuenta el punto en el que la carga exija la mayor corriente, la cual es de  $2A$  a una tensión de  $100V$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-DC

## TENSIÓN EN EL CAPACITOR

La tensión máxima que el sistema debe proporcionar es superior a los  $305[V]$ , para el proceso de ignición de la lámpara, con lo cual el capacitor debe ser capaz de soportar una tensión mayor a esta.

## CORRIENTE EN LA INDUCTANCIA

Para hallar la corriente máxima que va a circular por la inductancia se tomara en cuenta el punto en el que la carga exija la mayor corriente, la cual es de  $2A$  a una tensión de  $100V$





# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-DC

## CORRIENTE EN LA INDUCTANCIA

$$\begin{aligned}i_{L_{max}} &= I_{O_{max}} \cdot \frac{E + v_C}{v_C} \\ &= 2 \cdot \frac{170 + 100}{100} \\ &= 3,17A\end{aligned}$$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-DC

## CORRIENTE EN LA INDUCTANCIA

$$\begin{aligned}i_{L_{max}} &= I_{O_{max}} \cdot \frac{E + v_C}{v_C} \\ &= 2 \cdot \frac{170 + 100}{100} \\ &= 3,17A\end{aligned}$$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-AC

## TENSIÓN Y CORRIENTE

Al estar conectado directamente con la planta, el convertidor, debe soportar las características máximas de la misma, en otras palabras. debe soportar una tensión superior a los 330 voltios y una corriente superior a los 2 amperios.

## FRECUENCIA

Por otro lado, el mismo debe oscilar a una frecuencia que se encuentra en el rango de  $30\text{kHz}$  hasta los  $40\text{kHz}$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-AC

## TENSIÓN Y CORRIENTE

Al estar conectado directamente con la planta, el convertidor, debe soportar las características máximas de la misma, en otras palabras. debe soportar una tensión superior a los 330 voltios y una corriente superior a los 2 amperios.

## FRECUENCIA

Por otro lado, el mismo debe oscilar a una frecuencia que se encuentra en el rango de  $30\text{kHz}$  hasta los  $40\text{kHz}$



# REQUERIMIENTOS DEL CONVERTIDOR DC-AC

## TENSIÓN Y CORRIENTE

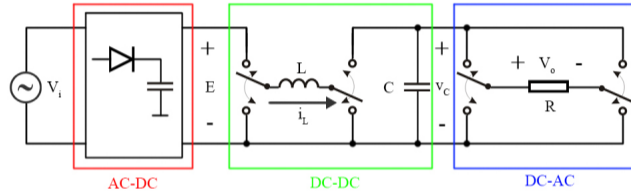
Al estar conectado directamente con la planta, el convertidor, debe soportar las características máximas de la misma, en otras palabras. debe soportar una tensión superior a los 330 voltios y una corriente superior a los 2 amperios.

## FRECUENCIA

Por otro lado, el mismo debe oscilar a una frecuencia que se encuentra en el rango de  $30\text{kHz}$  hasta los  $40\text{kHz}$



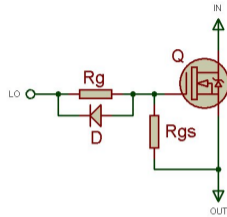
# ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL BALASTO ELECTRÓNICO



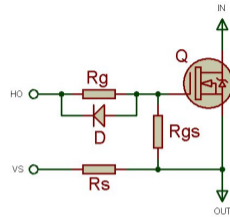
Para realizar el proceso de diseño, se dividió al balastro en múltiples subsistemas, agrupando diversos componentes que presenten características similares.



# TRANSISTORES ATERRIZADOS Y FLOTANTES



Transistor Aterrizado (x3)

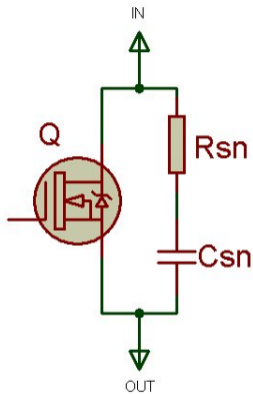


Transistor Flotante (x3)

- $R_g = 47\Omega$
- $R_{gs} = 10k\Omega$
- $R_s = 2\Omega$
- $D : 1N4007$
- $Q : STP18N60M2$



# RED SNUBBER

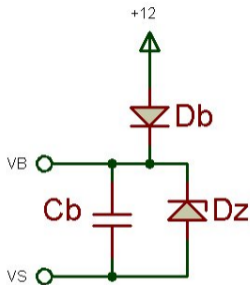


- $R_{sn} = 4,7\Omega$
- $C_{sn} = 2,2nF$





# CIRCUITO BOOTSRAP



- $C_b = 100nF$
- $D_z : 15V$
- $D_b : 1N4007$



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

$$L > \frac{V_o \cdot \left( V_{in(min)}^2 \right) \cdot T_s}{2 \cdot P_{in(min)} \cdot (V_o + V_{in(min)})}$$

## DONDE:

- $L$ : inductancia de la bobina a utilizarse.
- $V_o$ : tensión a la salida del convertidor.
- $V_{in(min)}$ : tensión mínimo a la entrada del convertidor.
- $T_s$ : Tiempo de un ciclo de reloj.
- $P_{in}$ : Potencia a la entrada del convertidor



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

Para establecer la inductancia mínima requerida por el sistema, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

Tanto el tiempo de un ciclo de reloj  $T_s$  como la tensión mínima de entrada  $V_{in(min)}$  son constantes y sus valores son  $6,25[\mu s]$  y  $160[V]$  respectivamente.

La mayor inductancia requerida se da cuando la carga exige la mayor tensión a la salida posible y al mismo tiempo una potencia relativamente baja, esta situación se presenta cuando se trata de encender la lampara por primera vez, ya que la tensión requerida es aproximadamente  $330[V]$  y la potencia es de apenas  $150[W]$ .



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

Para establecer la inductancia mínima requerida por el sistema, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

Tanto el tiempo de un ciclo de reloj  $T_s$  como la tensión mínima de entrada  $V_{in(min)}$  son constantes y sus valores son  $6,25[\mu s]$  y  $160[V]$  respectivamente.

La mayor inductancia requerida se da cuando la carga exige la mayor tensión a la salida posible y al mismo tiempo una potencia relativamente baja, esta situación se presenta cuando se trata de encender la lampara por primera vez, ya que la tensión requerida es aproximadamente  $330[V]$  y la potencia es de apenas  $150[W]$ .



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

Para establecer la inductancia mínima requerida por el sistema, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

Tanto el tiempo de un ciclo de reloj  $T_s$  como la tensión mínima de entrada  $V_{in(min)}$  son constantes y sus valores son  $6,25[\mu s]$  y  $160[V]$  respectivamente.

La mayor inductancia requerida se da cuando la carga exige la mayor tensión a la salida posible y al mismo tiempo una potencia relativamente baja, esta situación se presenta cuando se trata de encender la lampara por primera vez, ya que la tensión requerida es aproximadamente  $330[V]$  y la potencia es de apenas  $150[W]$ .



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

## REEMPLAZANDO LOS VALORES:

- $L > 359,18[\mu H]$
- $L = 1,3mH$



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

## REEMPLAZANDO LOS VALORES:

- $L > 359,18[\mu H]$
- $L = 1,3mH$



# INDUCTANCIA DEL CONVERTIDOR

## REEMPLAZANDO LOS VALORES:

- $L > 359,18[\mu H]$
- $L = 1,3mH$





# SENSADO

Si bien existen un sin numero de variables que actúan sobre el convertidor, la mayoría de estas pueden ser estimadas ya que son función de las dos variables de estado además de la tensión a la entrada.

## CONTROL EQUIVALENTE:

$$u_{eq} = \frac{v_C}{v_C + E}$$

## CORRIENTE DE SALIDA

$$i_O = (1 - u_{eq}) \cdot i_L$$

## PORENCIA DE SALIDA

$$P_O = v_C \cdot i_O$$



# SENSADO

Si bien existen un sin número de variables que actúan sobre el convertidor, la mayoría de estas pueden ser estimadas ya que son función de las dos variables de estado además de la tensión a la entrada.

## CONTROL EQUIVALENTE:

$$u_{eq} = \frac{v_C}{v_C + E}$$

## CORRIENTE DE SALIDA

$$i_O = (1 - u_{eq}) \cdot i_L$$

## PORENCIA DE SALIDA

$$P_O = v_C \cdot i_O$$



# SENSADO

Si bien existen un sin numero de variables que actúan sobre el convertidor, la mayoría de estas pueden ser estimadas ya que son función de las dos variables de estado además de la tensión a la entrada.

## CONTROL EQUIVALENTE:

$$u_{eq} = \frac{v_C}{v_C + E}$$

## CORRIENTE DE SALIDA

$$i_O = (1 - u_{eq}) \cdot i_L$$

## PORENCIA DE SALIDA

$$P_O = v_C \cdot i_O$$



# SENSADO

Si bien existen un sin numero de variables que actúan sobre el convertidor, la mayoría de estas pueden ser estimadas ya que son función de las dos variables de estado además de la tensión a la entrada.

## CONTROL EQUIVALENTE:

$$u_{eq} = \frac{v_C}{v_C + E}$$

## CORRIENTE DE SALIDA

$$i_O = (1 - u_{eq}) \cdot i_L$$

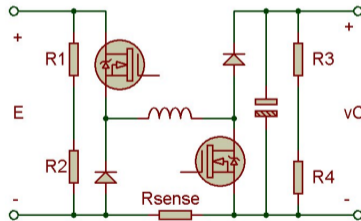
## PORENCIA DE SALIDA

$$P_O = v_C \cdot i_O$$



# SENSADO

Por tanto solo es necesario medir las dos variables de estado y la entrada el sistema para estimar el resto de variables, para lo cual se plantea el siguiente esquema:



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

El primer lazo de control del sistema es un controlador por modos deslizantes utilizando la superficie de corriente en la inductancia.

$$S = I_{ref} - i_L$$

## CONFIGURACIONES:

- Control por Modos Deslizantes Digital.
- Control por Modos Deslizantes Analógico.
- Control por Modos Deslizantes Híbrido.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

El primer lazo de control del sistema es un controlador por modos deslizantes utilizando la superficie de corriente en la inductancia.

$$S = I_{ref} - i_L$$

## CONFIGURACIONES:

- Control por Modos Deslizantes Digital.
- Control por Modos Deslizantes Analógico.
- Control por Modos Deslizantes Híbrido.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

El primer lazo de control del sistema es un controlador por modos deslizantes utilizando la superficie de corriente en la inductancia.

$$S = I_{ref} - i_L$$

## CONFIGURACIONES:

- Control por Modos Deslizantes Digital.
- Control por Modos Deslizantes Analógico.
- Control por Modos Deslizantes Híbrido.





# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

El primer lazo de control del sistema es un controlador por modos deslizantes utilizando la superficie de corriente en la inductancia.

$$S = I_{ref} - i_L$$

## CONFIGURACIONES:

- Control por Modos Deslizantes Digital.
- Control por Modos Deslizantes Analógico.
- Control por Modos Deslizantes Híbrido.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL

En esta configuración el algoritmo del controlador deslizante es ejecutado por un microcontrolador el cual lee la señal tensión proporcional a la corriente, la compara con la referencia y activa o no una salida digital del mismo en función de dicha comparación, todo esto lo hace dentro de un tiempo de muestreo.

## CARACTERÍSTICAS:

- Robusto ante el ruido.
- Fácilmente programable.
- Frecuencias de conmutación bajas.
- Demanda atención completa del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL

En esta configuración el algoritmo del controlador deslizante es ejecutado por un microcontrolador el cual lee la señal tensión proporcional a la corriente, la compara con la referencia y activa o no una salida digital del mismo en función de dicha comparación, todo esto lo hace dentro de un tiempo de muestreo.

## CARACTERÍSTICAS:

- Robusto ante el ruido.
- Fácilmente programable.
- Frecuencias de conmutación bajas.
- Demanda atención completa del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL

En esta configuración el algoritmo del controlador deslizante es ejecutado por un microcontrolador el cual lee la señal tensión proporcional a la corriente, la compara con la referencia y activa o no una salida digital del mismo en función de dicha comparación, todo esto lo hace dentro de un tiempo de muestreo.

## CARACTERÍSTICAS:

- Robusto ante el ruido.
- Fácilmente programable.
- Frecuencias de conmutación bajas.
- Demanda atención completa del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL

En esta configuración el algoritmo del controlador deslizante es ejecutado por un microcontrolador el cual lee la señal tensión proporcional a la corriente, la compara con la referencia y activa o no una salida digital del mismo en función de dicha comparación, todo esto lo hace dentro de un tiempo de muestreo.

## CARACTERÍSTICAS:

- Robusto ante el ruido.
- Fácilmente programable.
- Frecuencias de conmutación bajas.
- Demanda atención completa del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL

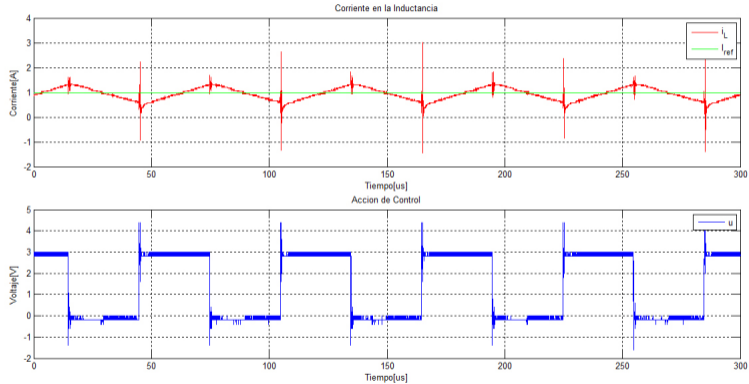
En esta configuración el algoritmo del controlador deslizante es ejecutado por un microcontrolador el cual lee la señal tensión proporcional a la corriente, la compara con la referencia y activa o no una salida digital del mismo en función de dicha comparación, todo esto lo hace dentro de un tiempo de muestreo.

## CARACTERÍSTICAS:

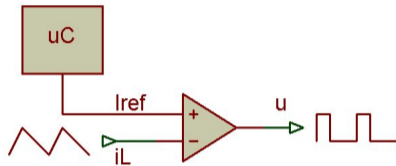
- Robusto ante el ruido.
- Fácilmente programable.
- Frecuencias de conmutación bajas.
- Demanda atención completa del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES DIGITAL



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO



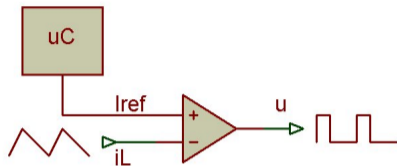
## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.





# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO

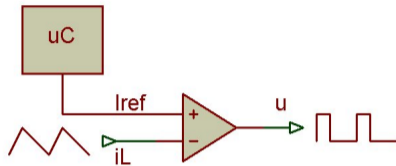


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO

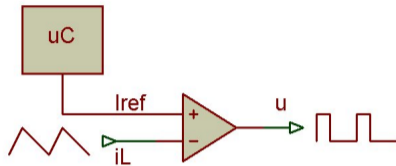


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO

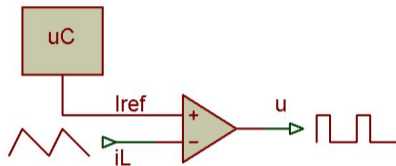


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO

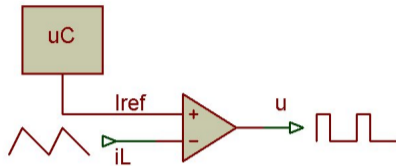


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO

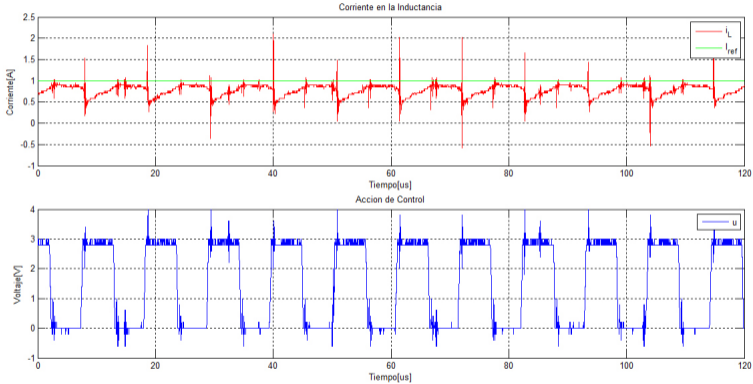


## CARACTERÍSTICAS:

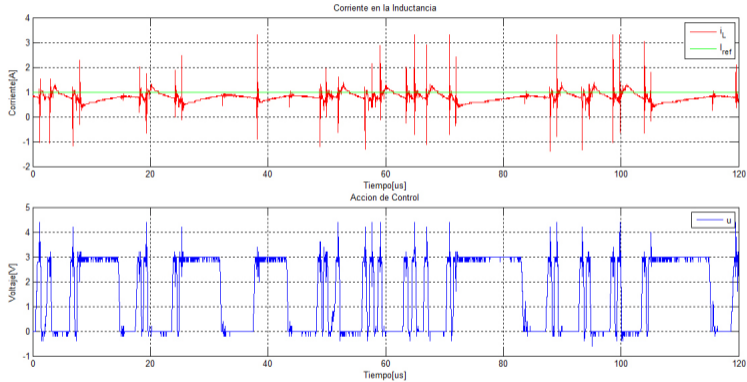
- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- No posee limite en frecuencia.
- Muy sensible al ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



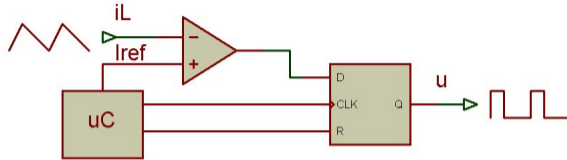
# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES ANALÓGICO



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO



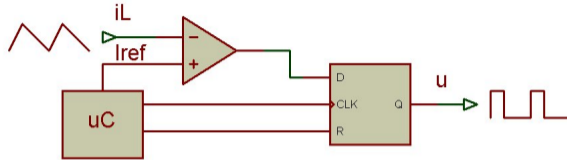
## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.





# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO

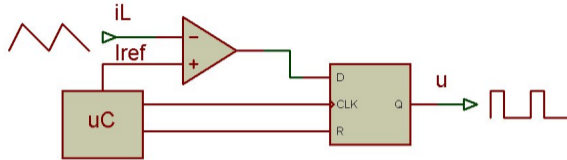


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO

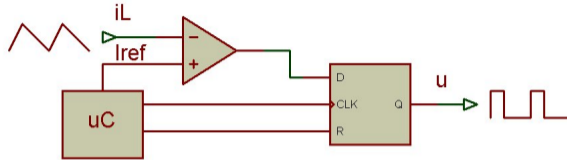


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO

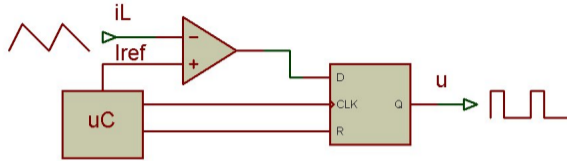


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO

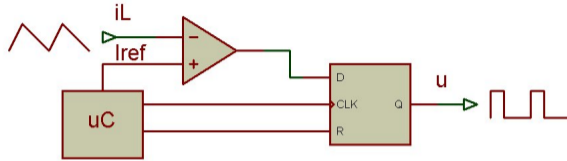


## CARACTERÍSTICAS:

- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO

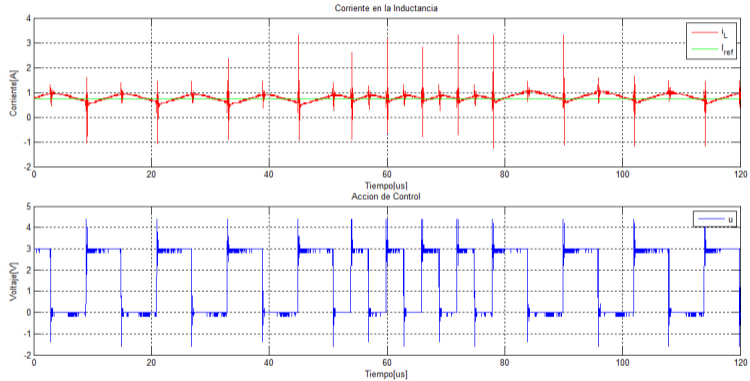


## CARACTERÍSTICAS:

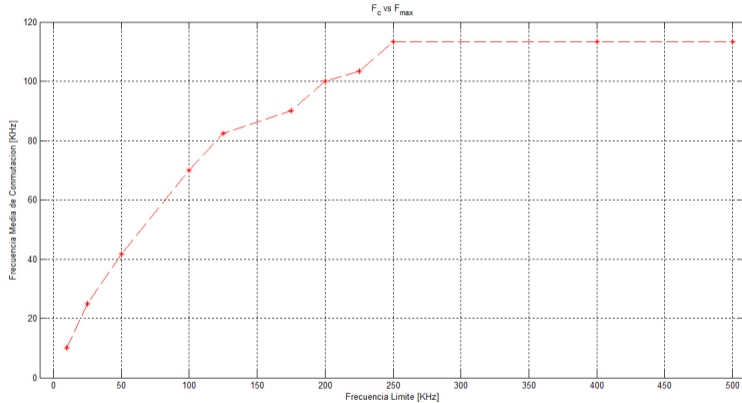
- Altas frecuencias de conmutación.
- Fácil construcción
- Posee limite en frecuencia.
- Robusto ante el ruido.
- No requiere atención del microcontrolador.



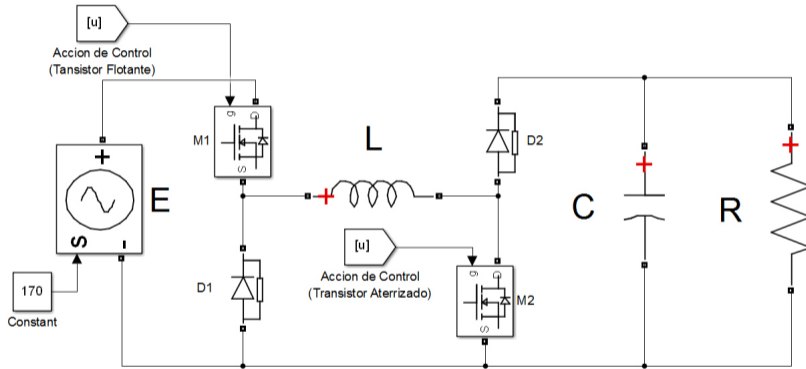
# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO



# CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES HÍBRIDO



# SIMULACIÓN CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

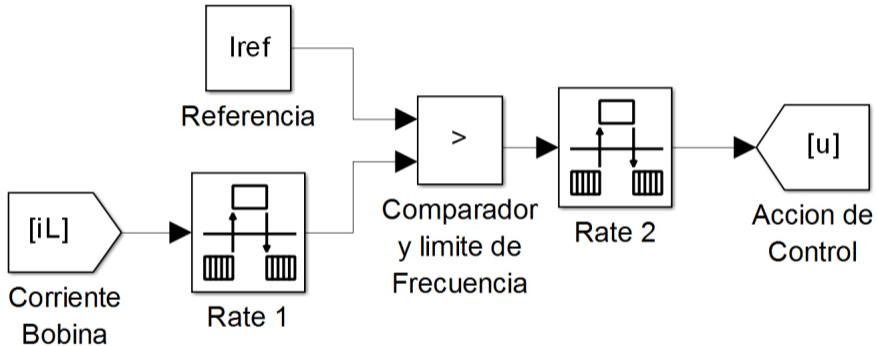


Esquema de la simulación del convertidor buck-boost realizada en Simulink.





# SIMULACIÓN CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES



Esquema de la simulación del controlador por modos deslizantes realizada en Simulink.

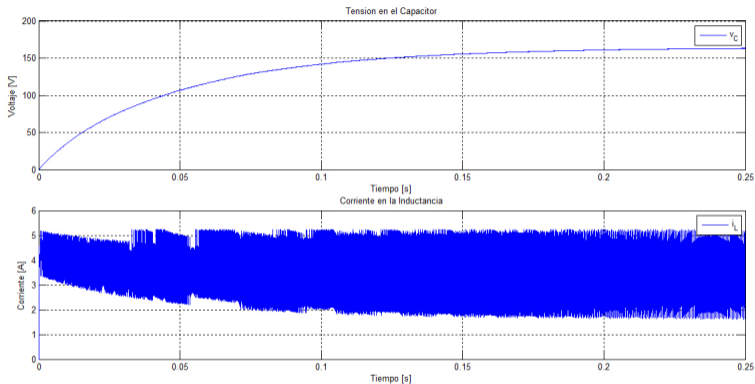


# SIMULACIÓN CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

Para validar la simulación, se la realiza en el caso en el cual la lampara consume la mayor potencia nominal, en dicho caso por la inductancia debe pasar una corriente de  $3,4[A]$ , por lo tanto la referencia en corriente es de  $I_{ref} = 3,4[A]$ . La simulación es realizada por un tiempo de  $250[ms]$  a un tiempo de muestreo de  $T_s = 100[ns]$  y una tensión de entrada de  $E = 170[V]$ .



# SIMULACIÓN CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES



Como se observa en la gráfica, la tensión a la salida es de aproximadamente 160[V], el cual es también la tensión requerida por la lampara en el estado estable.



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL**
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# TOMA DE DATOS DEL SISTEMA

Para obtener los patrones de entrenamiento requeridos por las redes neuronales artificiales, se procede a tomar datos de la lámpara sin controlador, entre los cuales se incluye la tensión en la lámpara  $v_C$ , corriente  $i_O$  y la potencia  $P_O$  suministrada en cada una de las etapas de la misma.

Para la toma de datos se mantiene una tensión estable en la entrada cuyo valor es de 170V.



# TOMA DE DATOS DEL SISTEMA

Para obtener los patrones de entrenamiento requeridos por las redes neuronales artificiales, se procede a tomar datos de la lámpara sin controlador, entre los cuales se incluye la tensión en la lámpara  $v_C$ , corriente  $i_O$  y la potencia  $P_O$  suministrada en cada una de las etapas de la misma.

Para la toma de datos se mantiene una tensión estable en la entrada cuyo valor es de 170V.



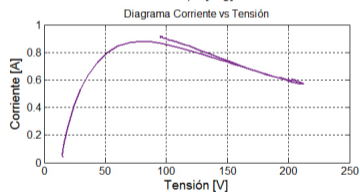
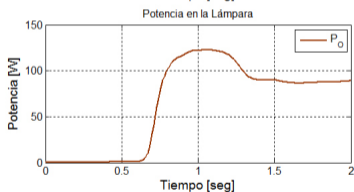
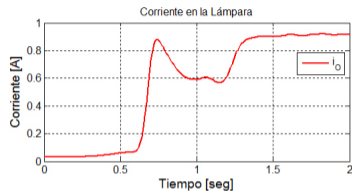
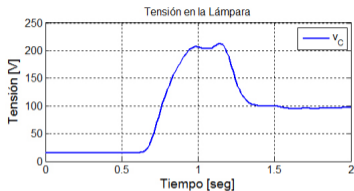
# TOMA DE DATOS DEL SISTEMA

Para obtener los patrones de entrenamiento requeridos por las redes neuronales artificiales, se procede a tomar datos de la lámpara sin controlador, entre los cuales se incluye la tensión en la lámpara  $v_C$ , corriente  $i_O$  y la potencia  $P_O$  suministrada en cada una de las etapas de la misma.

Para la toma de datos se mantiene una tensión estable en la entrada cuyo valor es de 170V.



# ESTADO DE IGNICIÓN

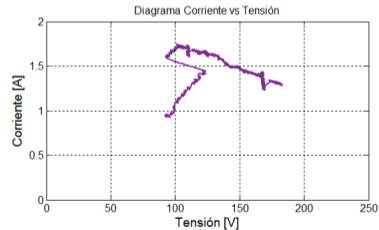
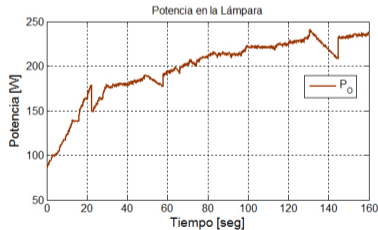
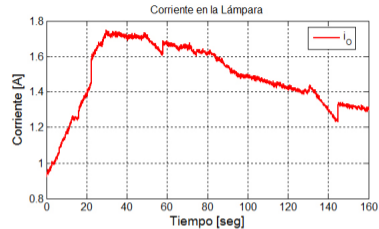
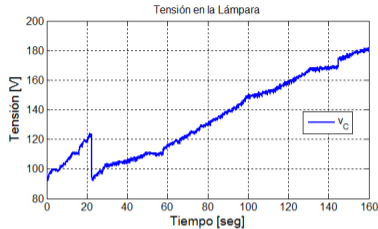


Evolución de los parámetros en la lámpara en el proceso de ignición.





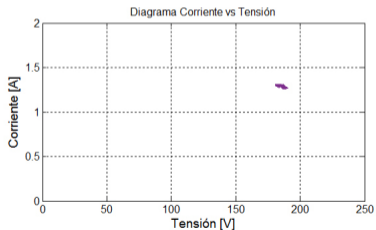
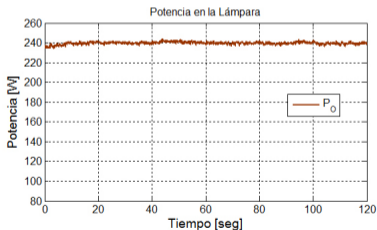
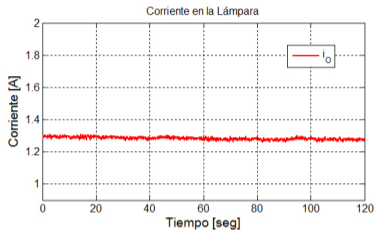
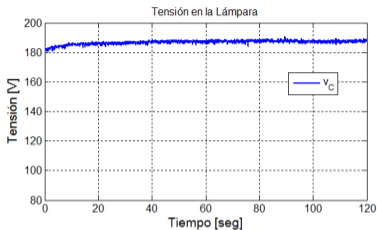
# ESTADO DE CALENTAMIENTO



Evolución de los parámetros en la lámpara en el estado de calentamiento



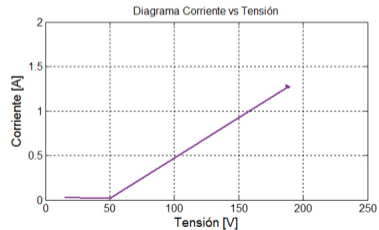
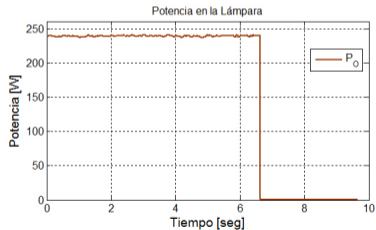
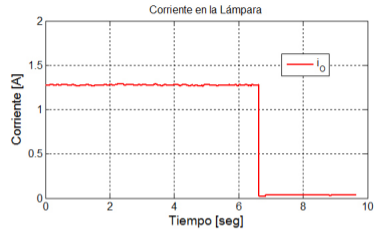
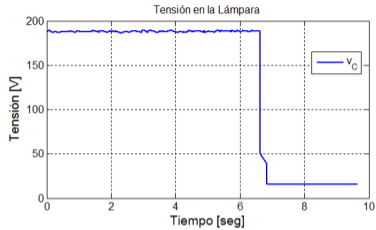
# ESTADO ESTABLE



Evolución de los parámetros en la lámpara en el estado estable.



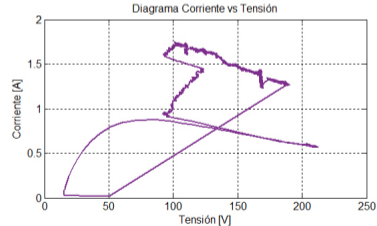
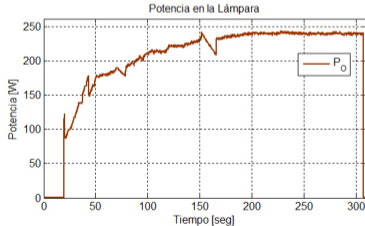
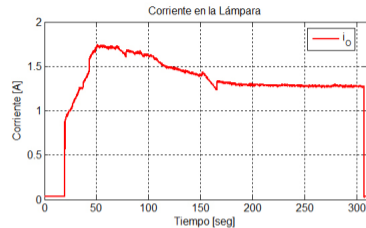
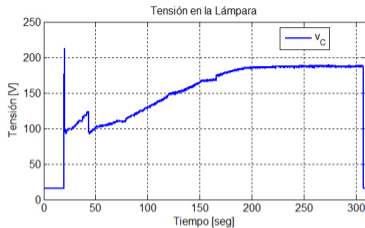
# ESTADO APAGADO



Evolución de los parámetros en la lámpara en el estado de apagado.



# EVOLUCIÓN COMPLETA DEL SISTEMA



Evolución completa de los parámetros de la lámpara.



# ESTADOS DE LA LÁMPARA

Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lampara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.



# ESTADOS DE LA LÁMPARA

Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lampara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.



# ESTADOS DE LA LÁMPARA

Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lámpara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.



# ESTADOS DE LA LÁMPARA

Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lampara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.





# ESTADOS DE LA LÁMPARA

Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lampara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.



# ESTADOS DE LA LÁMPARA

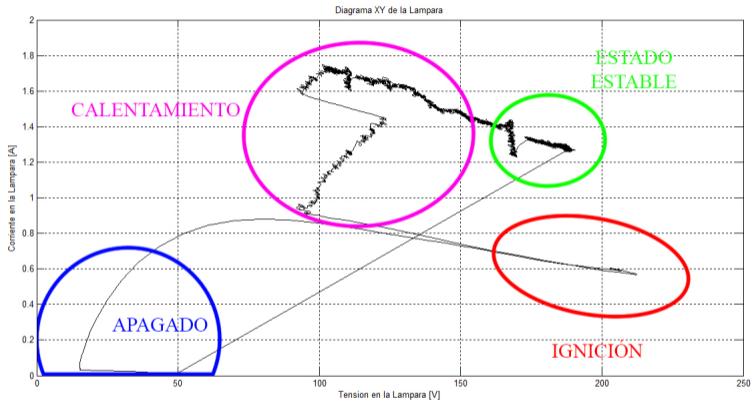
Con el fin de automatizar el proceso de encendido de la lampara, se debe conocer el estado en el que se encuentra la misma y los cuales se han definido como:

## ESTADOS:

- 1 Estado de apagado.
- 2 Estado de Ignición.
- 3 Estado de Calentamiento.
- 4 Estado Estable.
- 5 Estado de Transición o Indeterminado.



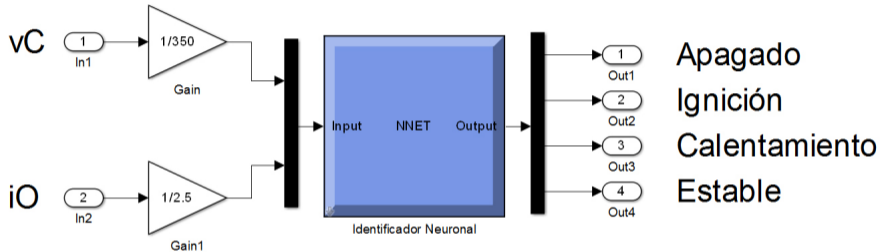
# ESTADOS DE LA LÁMPARA



Umbrales de decisión del identificador de estados



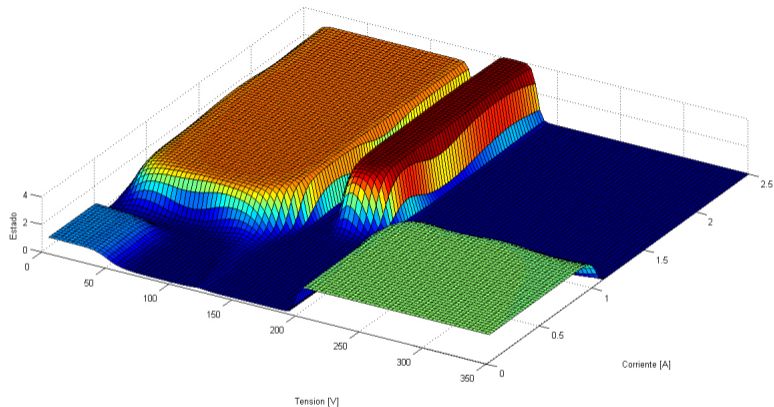
# IDENTIFICADOR NEURONAL



El identificador neuronal, consta de 2 neuronas de entrada, 20 neuronas en la capa escondida y 4 neuronas a la salida, una para cada estado de la lámpara.



# RESPUESTA DEL IDENTIFICADOR NEURONAL



Respuesta del identificador neuronal en función de la tensión y corriente en la lámpara.



# ACCIÓN DE CONTROL DEL IDENTIFICADOR NEURONAL

Estado	$I_{ref}$
Apagado	$0[A]$
Ignición	$1,5[A]$
Calentamiento	rampa $1,5 - 3[A]$
Estable	$3[A] + u$

Acción de control en función de los estados identificados.



# COMPENSADOR NEURONAL

Para evitar que perturbaciones externas afecten el sistema, las cuales se producen por cambios en la tensión de entrada, se implemento un controlador neuronal inverso, el cual al detectar una variación en la tensión de entrada producirá una variación en la referencia de la corriente en la inductancia, la cual mantiene estable la tensión a la salida.

Esta variación generada se sumara a la acción de control principal (proveniente del identificador de estado).



# COMPENSADOR NEURONAL

Para evitar que perturbaciones externas afecten el sistema, las cuales se producen por cambios en la tensión de entrada, se implemento un controlador neuronal inverso, el cual al detectar una variación en la tensión de entrada producirá una variación en la referencia de la corriente en la inductancia, la cual mantiene estable la tensión a la salida.

Esta variación generada se sumara a la acción de control principal (proveniente del identificador de estado).





# COMPENSADOR NEURONAL

Para evitar que perturbaciones externas afecten el sistema, las cuales se producen por cambios en la tensión de entrada, se implemento un controlador neuronal inverso, el cual al detectar una variación en la tensión de entrada producirá una variación en la referencia de la corriente en la inductancia, la cual mantiene estable la tensión a la salida.

Esta variación generada se sumara a la acción de control principal (proveniente del identificador de estado).



# SUSTENTO MATEMÁTICO

A fin de demostrar matemáticamente la factibilidad de anular las perturbaciones provenientes de la tensión de entrada  $\Delta E$  cambiando el valor de la variación de corriente en la inductancia  $\Delta i_L$  se tomaran en cuenta las siguientes consideraciones:



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
$$E = \bar{E} + \Delta E$$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  
$$\bar{E} \approx v_C.$$



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
$$E = \bar{E} + \Delta E$$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  
 $\bar{E} \approx v_C$ .



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
$$E = \bar{E} + \Delta E$$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  
 $\bar{E} \approx v_C$ .



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
 $E = \bar{E} + \Delta E$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  $\bar{E} \approx v_C$ .



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
 $E = \bar{E} + \Delta E$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  
 $\bar{E} \approx v_C$ .



# SUSTENTO MATEMÁTICO

## CONSIDERACIONES:

- 1 Se trabajara sobre el estado estable.
- 2 La impedancia de la lámpara es constante, puramente resistiva y cuyo valor es de  $Z = R = 120[\Omega]$ .
- 3 La tensión de entrada es igual a la media de la misma mas una variación:  
$$E = \bar{E} + \Delta E$$
- 4 La corriente en la inductancia es igual a una constante mas una variación de la misma:  $i_L = I_L + \Delta i_L$
- 5 La media de la tensión de entrada y de salida son aproximadamente iguales  
 $\bar{E} \approx v_C$ .





# SUSTENTO MATEMÁTICO

Tomando en cuenta estas consideraciones, la ecuación que rige al convertidor queda definida como:

$$v_C^2 + v_C (\bar{E} + \Delta E) - R(I_L + \Delta i_L) \cdot (\bar{E} + \Delta E) = 0$$

Despejando  $\Delta i_L$ :

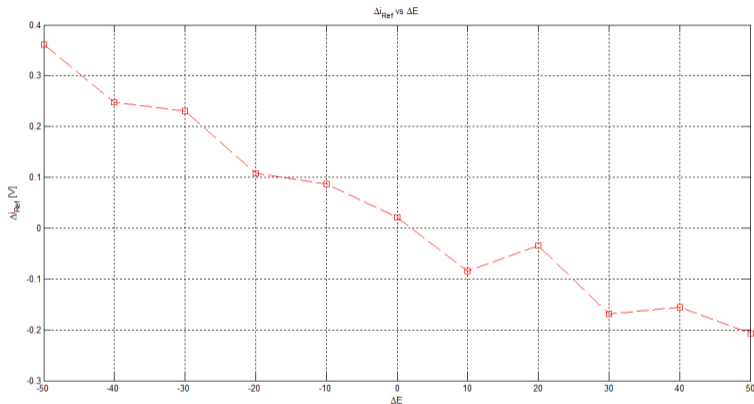
$$\Delta i_L = \frac{v_C (v_C + \bar{E} + \Delta E)}{R(\bar{E} + \Delta E)} - I_L$$

Y finalmente se obtiene:

$$\Delta i_L = \frac{k_1}{k_2 + \Delta E} - k_3$$



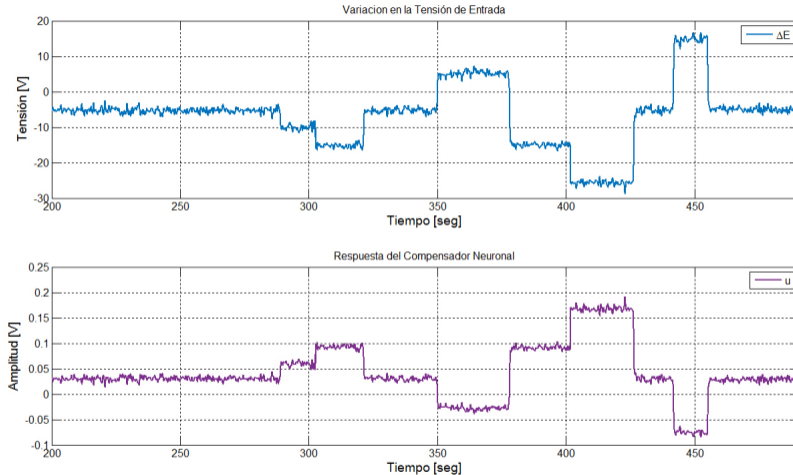
# PATRONES DE ENTRENAMIENTO



Variación de corriente necesaria para rechazar una determinada perturbación en la tensión de entrada.



# RESPUESTA DEL COMPENSADOR NEURONAL



Respuesta del compensador neuronal en función de las variaciones en tensión a la entrada.



# SISTEMA DE SEGURIDAD

A pesar de que el sistema cuenta con dos redes neuronales para controlar los múltiples estados de la lámpara, ninguna de ellas está diseñada para operar situaciones extremas de funcionamiento, que podrían ocasionar daños al sistema como tal.

## POSIBLES FALLAS:

- 1 Sobre corriente en la inductancia del convertidor.
- 2 Sobre tensión a la salida del convertidor.
- 3 Tensión insuficiente a la entrada del convertidor.
- 4 Transiciones erróneas del sistema balastro-lámpara.



# SISTEMA DE SEGURIDAD

A pesar de que el sistema cuenta con dos redes neuronales para controlar los múltiples estados de la lámpara, ninguna de ellas está diseñada para operar situaciones extremas de funcionamiento, que podrían ocasionar daños al sistema como tal.

## POSIBLES FALLAS:

- 1 Sobre corriente en la inductancia del convertidor.
- 2 Sobre tensión a la salida del convertidor.
- 3 Tensión insuficiente a la entrada del convertidor.
- 4 Transiciones erróneas del sistema balastro-lámpara.



# SISTEMA DE SEGURIDAD

A pesar de que el sistema cuenta con dos redes neuronales para controlar los múltiples estados de la lámpara, ninguna de ellas está diseñada para operar situaciones extremas de funcionamiento, que podrían ocasionar daños al sistema como tal.

## POSIBLES FALLAS:

- 1 Sobre corriente en la inductancia del convertidor.
- 2 Sobre tensión a la salida del convertidor.
- 3 Tensión insuficiente a la entrada del convertidor.
- 4 Transiciones erróneas del sistema balastro-lámpara.



# SISTEMA DE SEGURIDAD

A pesar de que el sistema cuenta con dos redes neuronales para controlar los múltiples estados de la lámpara, ninguna de ellas está diseñada para operar situaciones extremas de funcionamiento, que podrían ocasionar daños al sistema como tal.

## POSIBLES FALLAS:

- 1 Sobre corriente en la inductancia del convertidor.
- 2 Sobre tensión a la salida del convertidor.
- 3 Tensión insuficiente a la entrada del convertidor.
- 4 Transiciones erróneas del sistema balastro-lámpara.



# SISTEMA DE SEGURIDAD

A pesar de que el sistema cuenta con dos redes neuronales para controlar los múltiples estados de la lámpara, ninguna de ellas está diseñada para operar situaciones extremas de funcionamiento, que podrían ocasionar daños al sistema como tal.

## POSIBLES FALLAS:

- 1 Sobre corriente en la inductancia del convertidor.
- 2 Sobre tensión a la salida del convertidor.
- 3 Tensión insuficiente a la entrada del convertidor.
- 4 Transiciones erróneas del sistema balastro-lámpara.





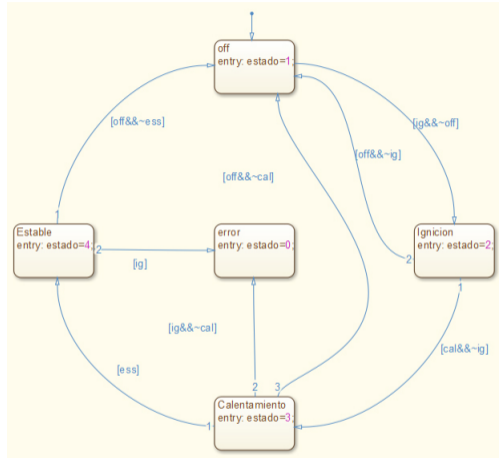
# TRANSICIONES ERRÓNEAS DEL SISTEMA BALASTRO-LÁMPARA.



Ocurre por fluctuaciones grandes en la potencia entregada a la lámpara, ocasionando que la misma se regrese al estado de ignición.



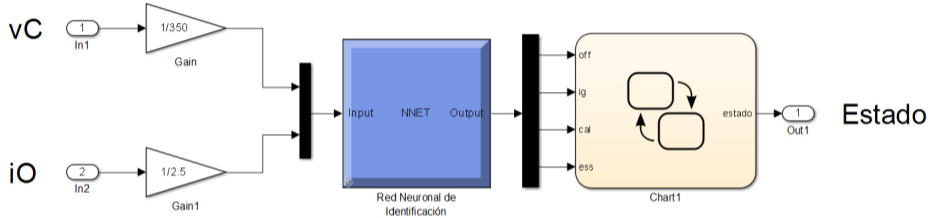
# MAQUINA DE ESTADOS



Maquina de estados para detectar errores en transiciones del sistema balastro-lámpara.



# MAQUINA DE ESTADOS



La maquina de estados requiere saber el estado actual estimado en el que se encuentra la lámpara.



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS**
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

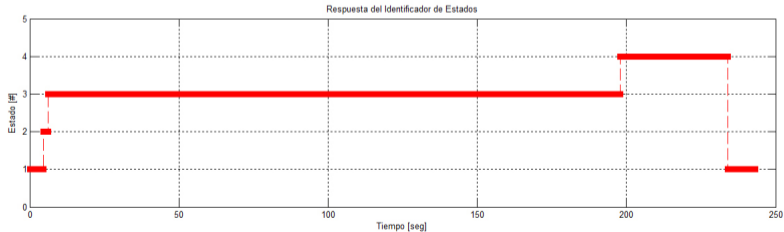
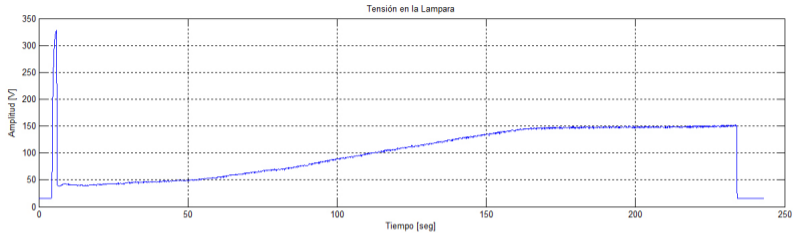


# PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente apartado se muestra el funcionamiento del sistema Balastro-Lámpara antes diversas situaciones, a fin de evidenciar si existe o no mejora del mismo mediante el uso de los controladores anteriormente descritos.



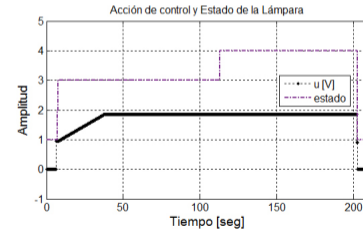
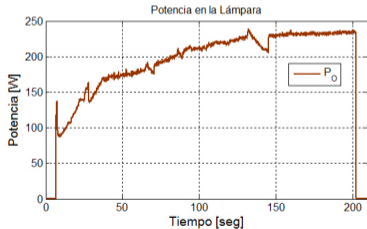
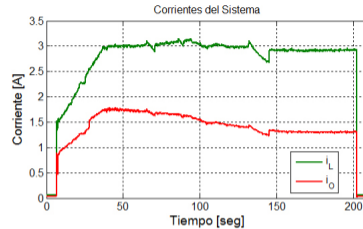
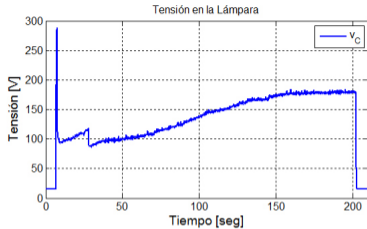
# IDENTIFICADOR DE ESTADOS



Identificación de Estados del sistema.



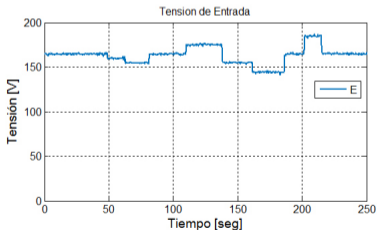
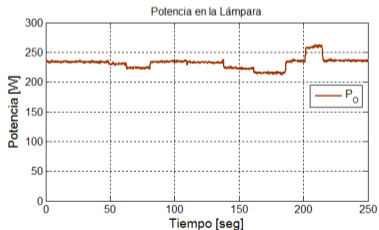
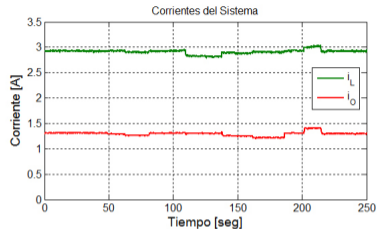
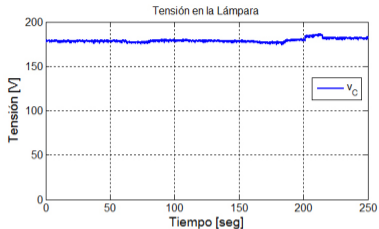
# ACCIÓN DE CONTROL PRINCIPAL



Efecto del controlador Principal en el sistema Balastro-Lámpara.



# RECHAZO DE PERTURBACIONES

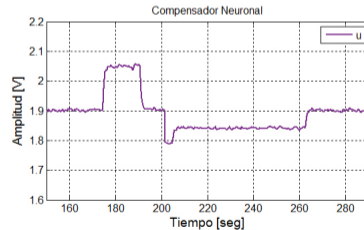
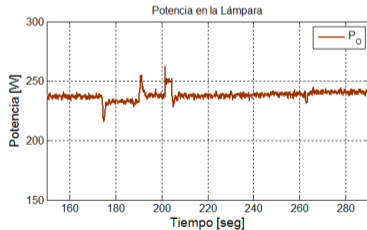
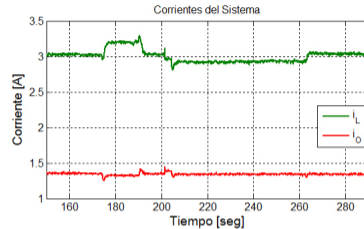
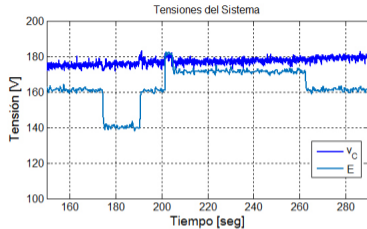


Respuesta del sistema Balastro-Lámpara ante cambios en la tensión de entrada.





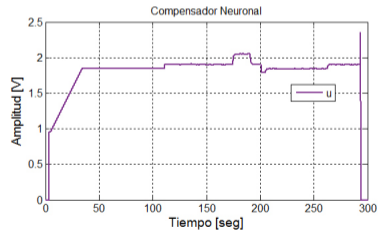
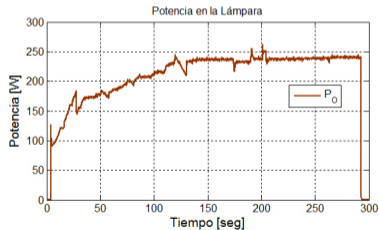
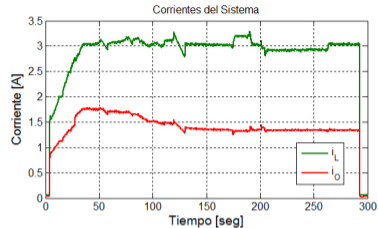
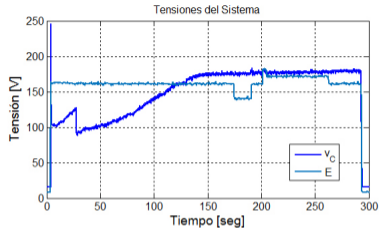
# RECHAZO DE PERTURBACIONES COMPENSADOR



Rechazo de perturbaciones mediante el Compensador Neuronal.



# RECHAZO DE PERTURBACIONES COMPENSADOR



Sistema Balastro-Lámpara con Compensador Neuronal.



# ÍNDICE

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 MARCO TEÓRICO
- 3 RE-INGENIERÍA
- 4 DISEÑO DEL CONTROLADOR NEURONAL
- 5 PRUEBAS Y RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



# CONCLUSIONES

El balastro electrónico debe garantizar un correcto funcionamiento de la lámpara HID-MH durante cada etapa del encendido, por ende proporcionar una tensión superior a los  $330V_{ac}$  para superar la etapa de ignición, entregar una corriente de aproximadamente  $2A$  durante la fase de calentamiento, oscilar a una frecuencia de  $33kHz$  y mantener un potencia de  $250W$  rechazando perturbaciones en un estado estable.



# CONCLUSIONES

El control por modo deslizante es adecuado para el manejo sistemas de estructura variables como es el caso de convertidor Buck-Boost, debido a su robustez y rapidez de corrección.

El controlador por modo deslizante digital (CMD-D) posee una gran robustez ante el ruido presente en el sistema, sin embargo conmuta a una frecuencia relativamente baja y requiere la total atención del microcontrolador.



# CONCLUSIONES

El control por modo deslizante es adecuado para el manejo sistemas de estructura variables como es el caso de convertidor Buck-Boost, debido a su robustez y rapidez de corrección.

El controlador por modo deslizante digital (CMD-D) posee una gran robustez ante el ruido presente en el sistema, sin embargo conmuta a una frecuencia relativamente baja y requiere la total atención del microcontrolador.



# CONCLUSIONES

El controlador por modo deslizante analógico (CMD-A) conmuta a una frecuencia elevada, no requiere el uso de un microcontrolador y es sencillo de implementar. Pero es más sensible al ruido, lo que no hace viable su utilización.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los controladores por modo deslizante digital y analógico se propuso una nueva configuración que engloba las ventajas de ambos controladores. Esta configuración se denominó controlador por modo deslizante híbrido (CMD-H).



# CONCLUSIONES

El controlador por modo deslizante analógico (CMD-A) conmuta a una frecuencia elevada, no requiere el uso de un microcontrolador y es sencillo de implementar. Pero es más sensible al ruido, lo que no hace viable su utilización.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los controladores por modo deslizante digital y analógico se propuso una nueva configuración que engloba las ventajas de ambos controladores. Esta configuración se denominó controlador por modo deslizante híbrido (CMD-H).





# CONCLUSIONES

El CMD-H posee una frecuencia de conmutación intermedia entre el CMD-D y el CMD-A, lo que lo hace robusto ante el ruido consumiendo pocos recursos del microcontrolador.

El CMD-H es de sencilla implementación, fácil manipulación y económico de ensamblar.



# CONCLUSIONES

El CMD-H posee una frecuencia de conmutación intermedia entre el CMD-D y el CMD-A, lo que lo hace robusto ante el ruido consumiendo pocos recursos del microcontrolador.

El CMD-H es de sencilla implementación, fácil manipulación y económico de ensamblar.



# CONCLUSIONES

La frecuencia de reloj del CMD-H no debe ser muy elevada ya que se pierde robustez ante el ruido y no puede ser muy baja por que aumenta el rizado de la corriente en la bobina.

Para un correcto encendido de la lámpara HID-MH es necesario conocer en que fase se encuentra, lo que se logró a través de una red neuronal artificial entrenada para reconocer patrones y de esta manera identificar cada una de las fases.



# CONCLUSIONES

La frecuencia de reloj del CMD-H no debe ser muy elevada ya que se pierde robustez ante el ruido y no puede ser muy baja por que aumenta el rizado de la corriente en la bobina.

Para un correcto encendido de la lámpara HID-MH es necesario conocer en que fase se encuentra, lo que se logró a través de una red neuronal artificial entrenada para reconocer patrones y de esta manera identificar cada una de las fases.



# CONCLUSIONES

El identificador neuronal coloca la referencia de corriente al CMD-H pero no es capaz de rechazar variaciones en el sistema, por tal motivo se implementó un compensador neuronal.

El compensador neuronal se encarga de rechazar perturbaciones en la tensión de entrada, generando una variación en la referencia de corriente del CMD-H.



# CONCLUSIONES

El identificador neuronal coloca la referencia de corriente al CMD-H pero no es capaz de rechazar variaciones en el sistema, por tal motivo se implementó un compensador neuronal.

El compensador neuronal se encarga de rechazar perturbaciones en la tensión de entrada, generando una variación en la referencia de corriente del CMD-H.



# CONCLUSIONES

El compensador neuronal fue entrenado con datos del sistema balastro-lámpara en estado estable, al cual aplicaron perturbaciones en la tensión de entrada y se varió la referencia de corriente del CMD-H manualmente, hasta alcanzar nuevamente el punto de equilibrio.

Si bien el identificador neuronal estima el estado actual del sistema balastro-lámpara, no es capaz de discernir si las transiciones de un estado a otro son correctas o erróneas, por tal motivo se implementó una máquina de estados, cuyo objetivo es proteger el sistema apagándolo cuando se detectó una transición incorrecta.



# CONCLUSIONES

El compensador neuronal fue entrenado con datos del sistema balastro-lámpara en estado estable, al cual aplicaron perturbaciones en la tensión de entrada y se varió la referencia de corriente del CMD-H manualmente, hasta alcanzar nuevamente el punto de equilibrio.

Si bien el identificador neuronal estima el estado actual del sistema balastro-lámpara, no es capaz de discernir si las transiciones de un estado a otro son correctas o erróneas, por tal motivo se implementó una máquina de estados, cuyo objetivo es proteger el sistema apagándolo cuando se detectó una transición incorrecta.





# CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de las diferentes estrategias de control descritas anteriormente, el sistema balastro-lámpara es autónomo, ya que solo requiere de una tensión a la entrada de  $110V_{ac}$ .

Según las pruebas realizadas en el sistema balastro-lámpara controlado, se alcanzó una eficiencia de  $85\%$ , una tensión de  $330V_{dc}$  en la fase de ignición, una corriente de calentamiento que va desde los  $1,8A$  al iniciar y  $1,3A$  al finalizar, la frecuencia del inversor se mantuvo en los  $33kHz$  y la potencia fluctúa entre  $240W$  y  $250W$ .



# CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de las diferentes estrategias de control descritas anteriormente, el sistema balastro-lámpara es autónomo, ya que solo requiere de una tensión a la entrada de  $110V_{ac}$ .

Según las pruebas realizadas en el sistema balastro-lámpara controlado, se alcanzó una eficiencia de  $85\%$ , una tensión de  $330V_{dc}$  en la fase de ignición, una corriente de calentamiento que va desde los  $1,8A$  al iniciar y  $1,3A$  al finalizar, la frecuencia del inversor se mantuvo en los  $33kHz$  y la potencia fluctúa entre  $240W$  y  $250W$ .



# CONCLUSIONES

El aumento paulatino de la corriente en la lámpara durante el proceso de calentamiento, ocasiona que el encendido se demoré menos que al usar balastos convencionales, tomando alrededor de 2 a 3 minutos mientras que con los otros balastos toma alrededor de 4 a 5 minutos.



# RECOMENDACIONES

Utilizar redes neuronales artificiales para la identificación y/o control de plantas altamente no lineales, por su capacidad de aprender sin necesidad de conocer un modelo matemático del sistema.

Utilizar la topología híbrida para el control por modo deslizante de convertidores DC-DC.

Para sensor corriente en el sistema se debe utilizar resistencias de senseo, ya que permite obtener el mayor ancho de banda posible.



# RECOMENDACIONES

Utilizar redes neuronales artificiales para la identificación y/o control de plantas altamente no lineales, por su capacidad de aprender sin necesidad de conocer un modelo matemático del sistema.

Utilizar la topología híbrida para el control por modo deslizante de convertidores DC-DC.

Para sensor corriente en el sistema se debe utilizar resistencias de senseo, ya que permite obtener el mayor ancho de banda posible.



# RECOMENDACIONES

Utilizar redes neuronales artificiales para la identificación y/o control de plantas altamente no lineales, por su capacidad de aprender sin necesidad de conocer un modelo matemático del sistema.

Utilizar la topología híbrida para el control por modo deslizante de convertidores DC-DC.

Para sensor corriente en el sistema se debe utilizar resistencias de senseo, ya que permite obtener el mayor ancho de banda posible.



# RECOMENDACIONES

Para una adecuada activación de los transistores se puede utilizar las protecciones descritas en el capítulo de marco teórico.

La utilización de filtros EMI y Snubbers ayudan a atenuar el ruido por conmutaciones.



# RECOMENDACIONES

Para una adecuada activación de los transistores se puede utilizar las protecciones descritas en el capítulo de marco teórico.

La utilización de filtros EMI y Snubbers ayudan a atenuar el ruido por conmutaciones.





GRACIAS POR LA ATENCIÓN

