



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

## Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

### Electrónica y Automatización

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de ingeniero en Electrónica y Automatización

"Control bidireccional de un batería implementado en el sistema TYPHOON HIL ."

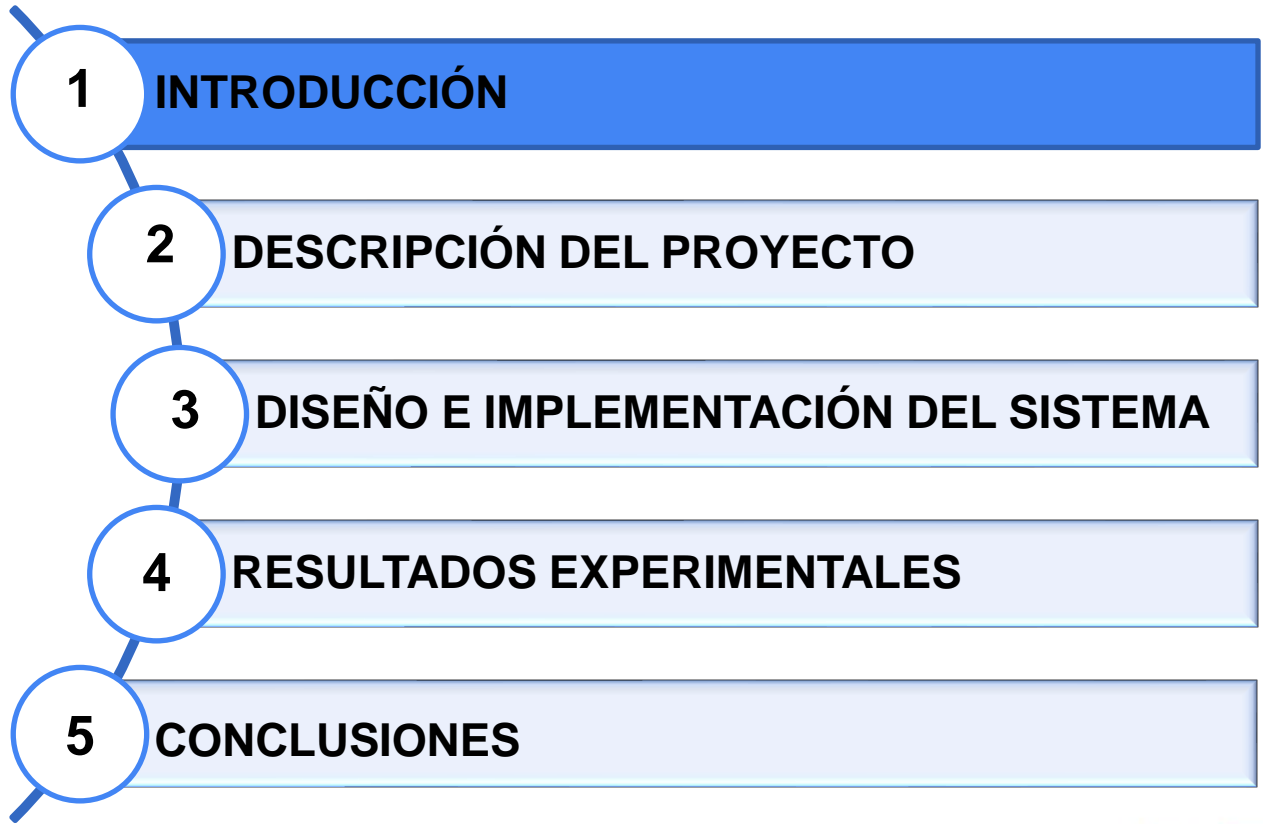
#### ***Autores:***

Sumba Guamán, Henry Roberto

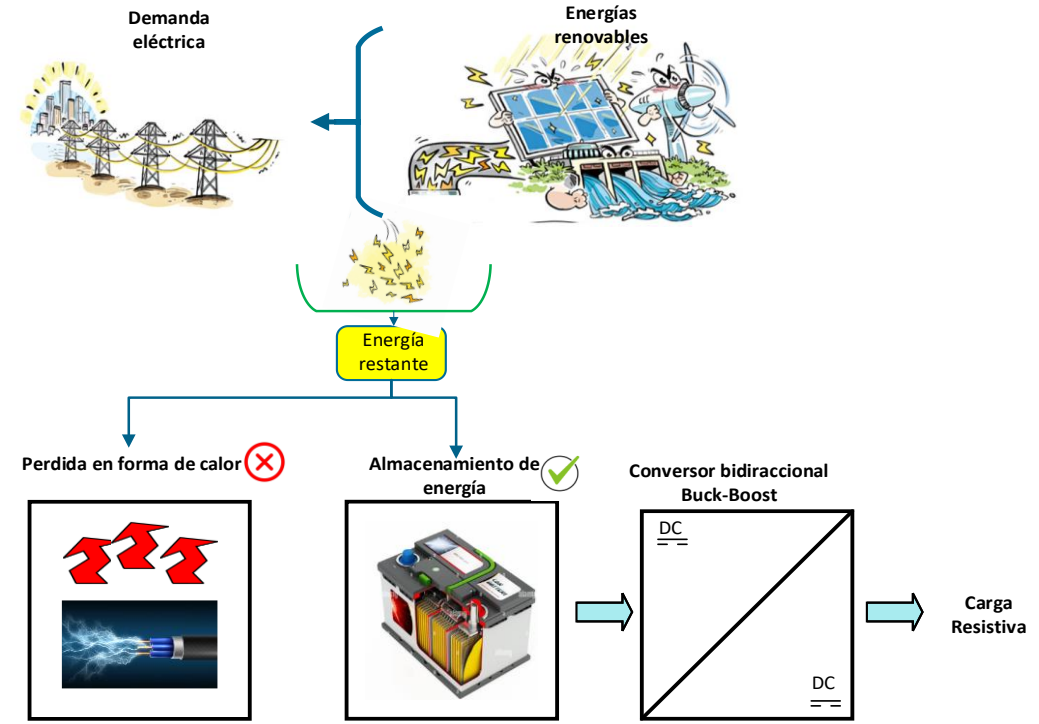
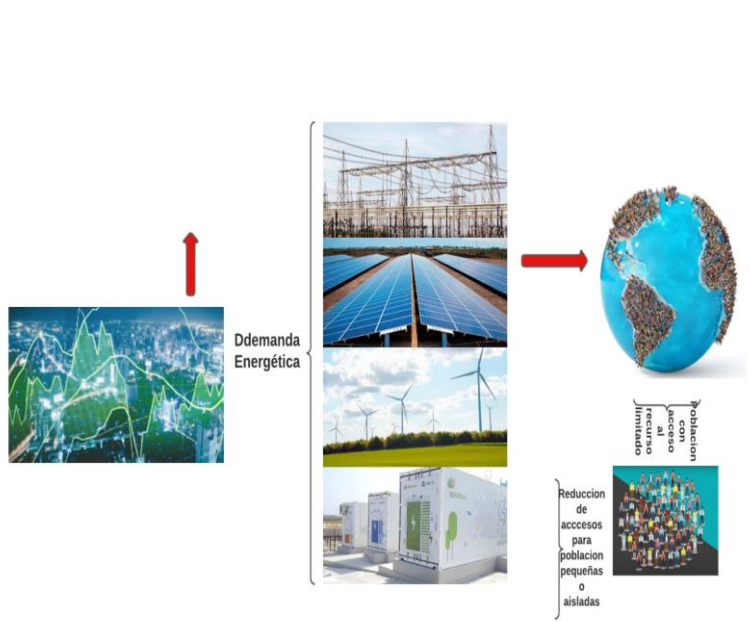
Siza Hilaño, Jairo Joel

Phd. Llanos Proaño, Jaqueline del Rosario , ***Tutora***





## Planteamiento del problema

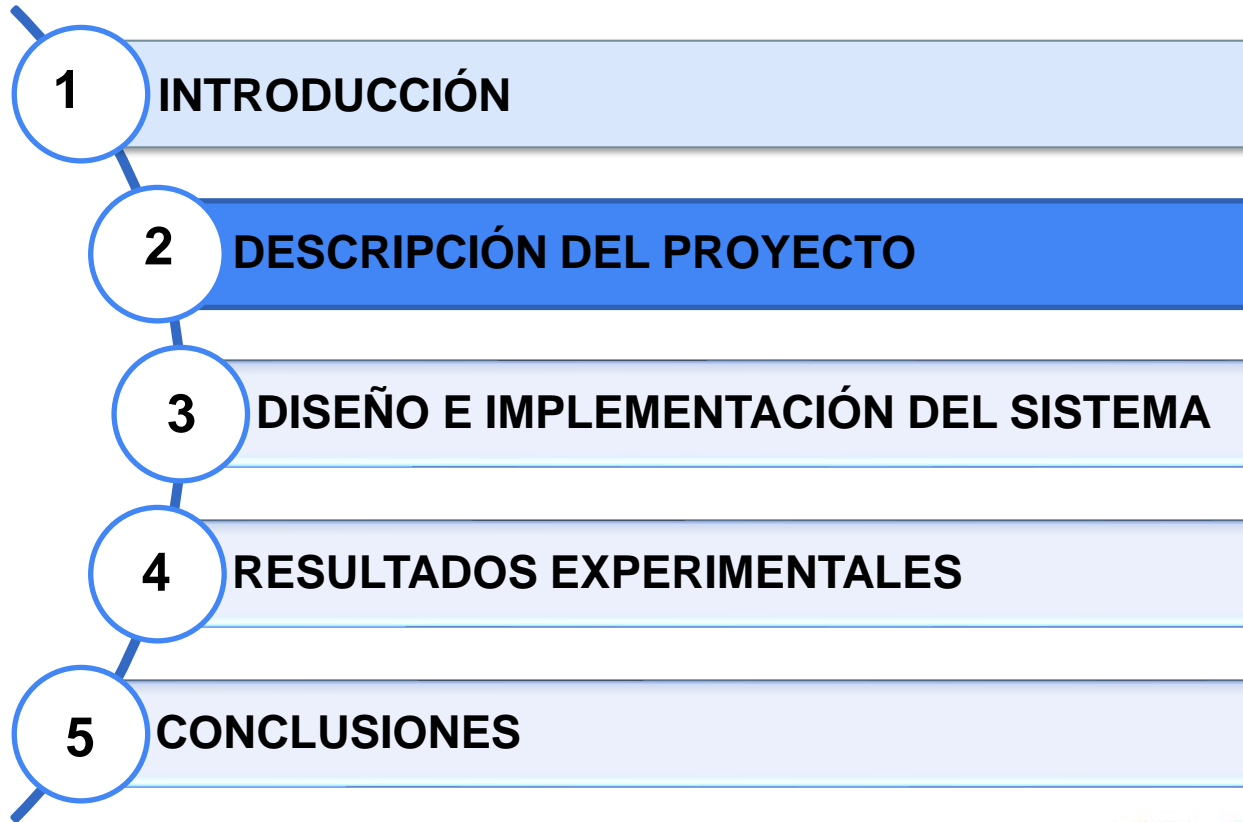


## ***Objetivo general***

- Controlar bidireccionalmente de una Batería implementado en el sistema TYPHOON HILL, para entregar potencia constante a cargas resistivas

## ***Objetivos específicos***

- Diseñar un simulador de un sistema de almacenamiento basado en batería
- Realizar experimentos en lazo abierto del sistema
- Implementación del sistema de almacenamiento y la interfaz de electrónica de potencia en la unidad Typhoon HIL.
- Diseñar un algoritmo de control bidireccional de carga y descarga de la batería.
- Validar por simulación.
- Implementar experimentalmente una estrategia de control local bidireccional de una batería en Typhoon HIL y DSP.

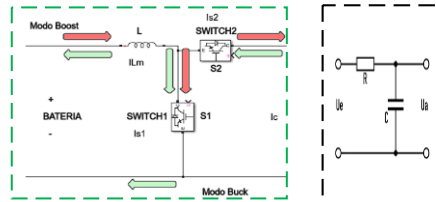
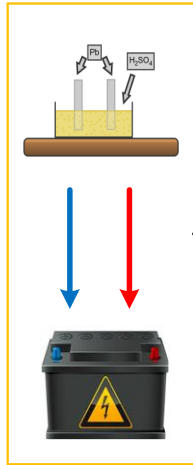


## Energías renovables



Proceso de almacenar energía provenientes de fuentes de energía intermitentes como eólica, solar, para un uso posterior.

## Almacenamiento de energía

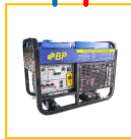


Entrega de energía de la batería en tensión DC [V]

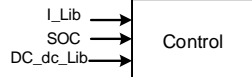
Convertor Bidireccional Buck-Boost DC-DC

FILTRO RC

Consumo

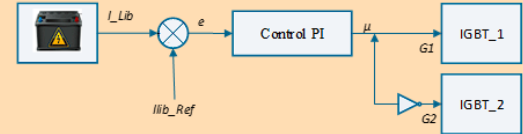


Generador

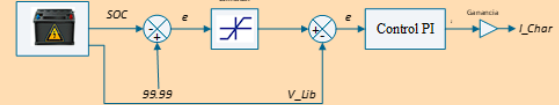


## Control

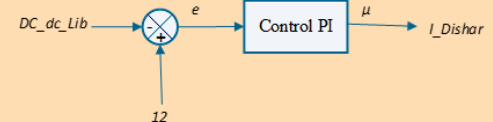
### Control de corriente



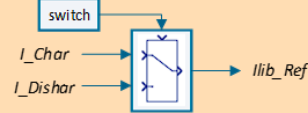
### Control de carga



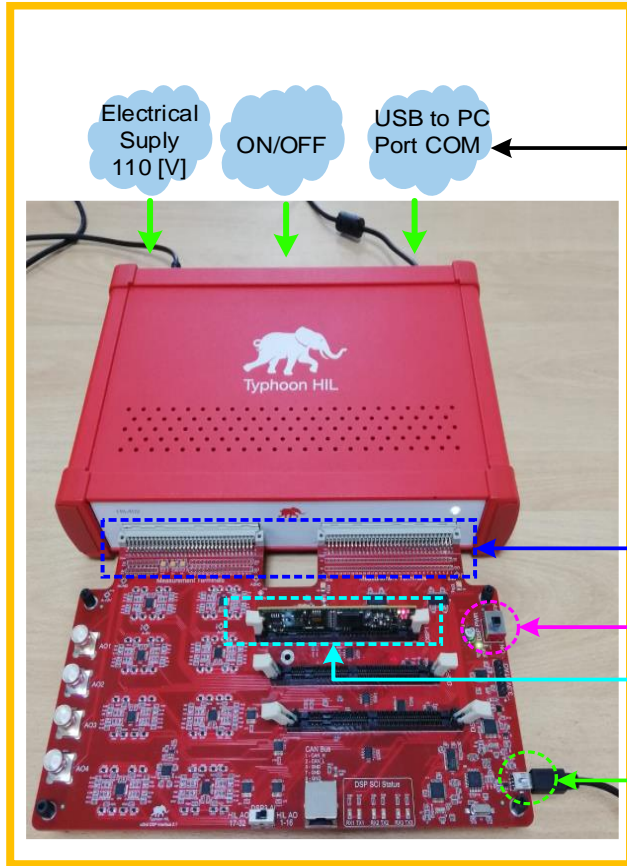
### Control de descarga



### Selector de modo de operación



# DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

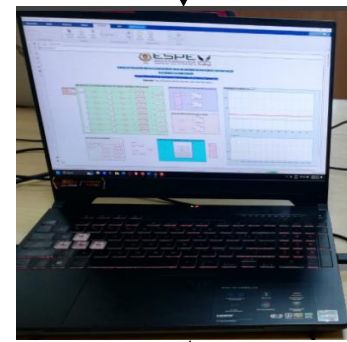


Typhoon I/O

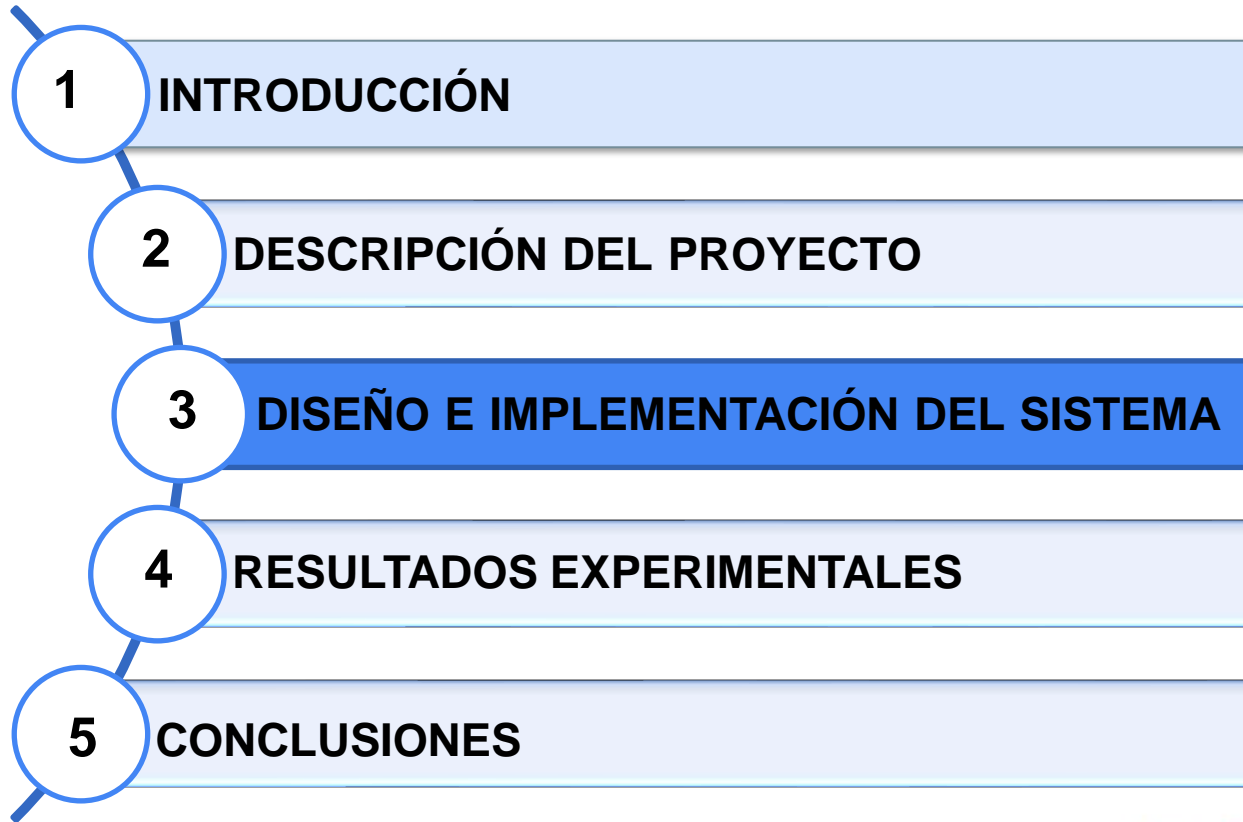
ON/OFF

DSP

USB to PC Port COM

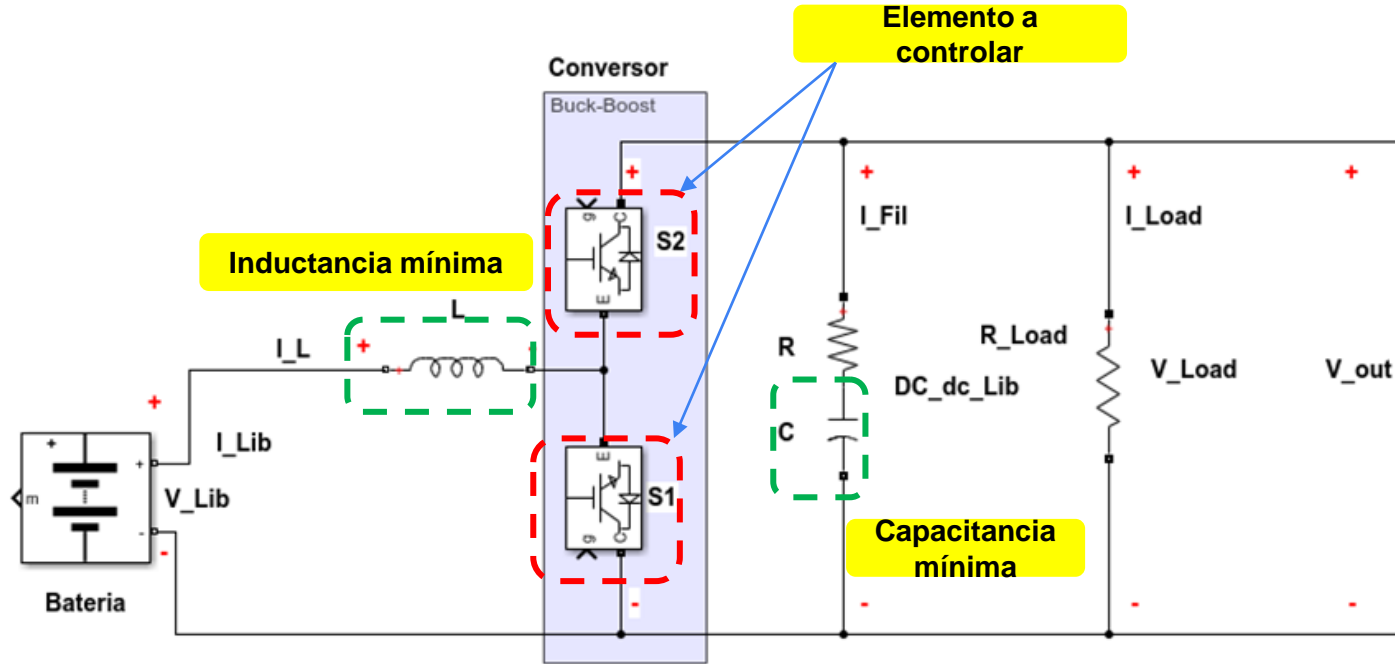


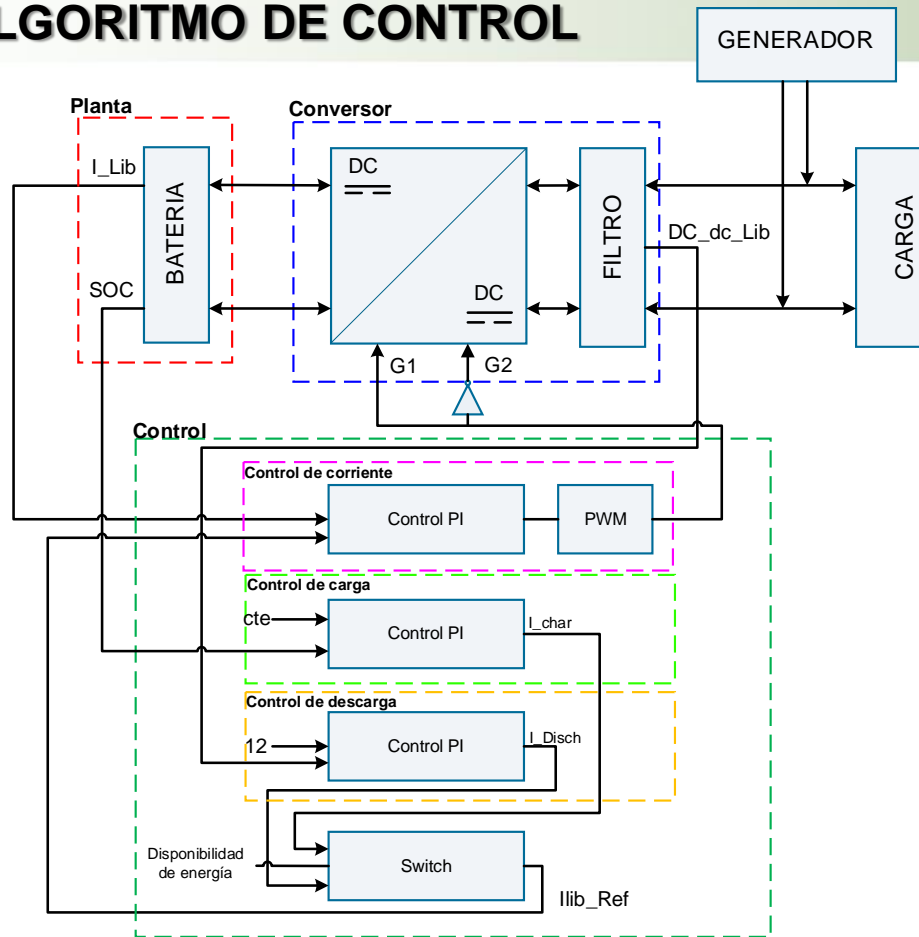
16 GB de RAM  
2.4 GHz  
RYZEN 7





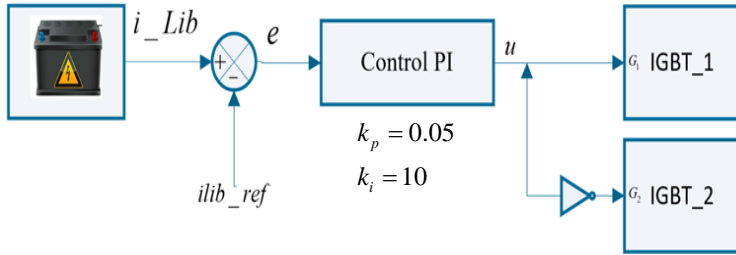
## Diseño del controlador pi para el conversor bidireccional buck-boost dc-dc



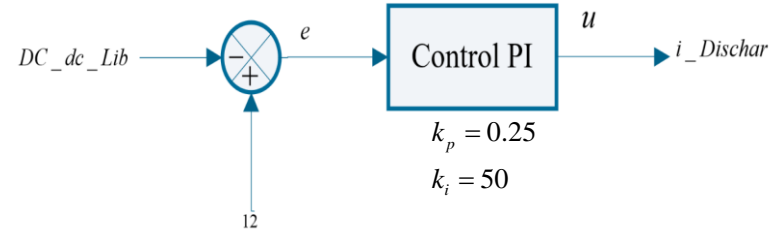


## Diseño del controlador pi para el conversor bidireccional buck-boost dc-dc

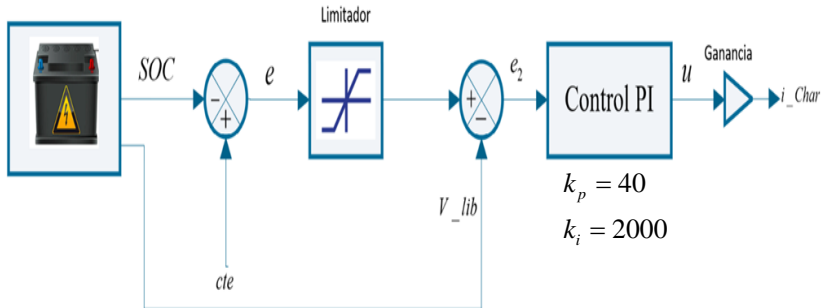
### Control de corriente



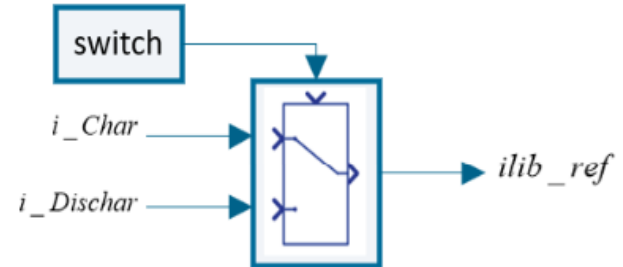
### Control de descarga



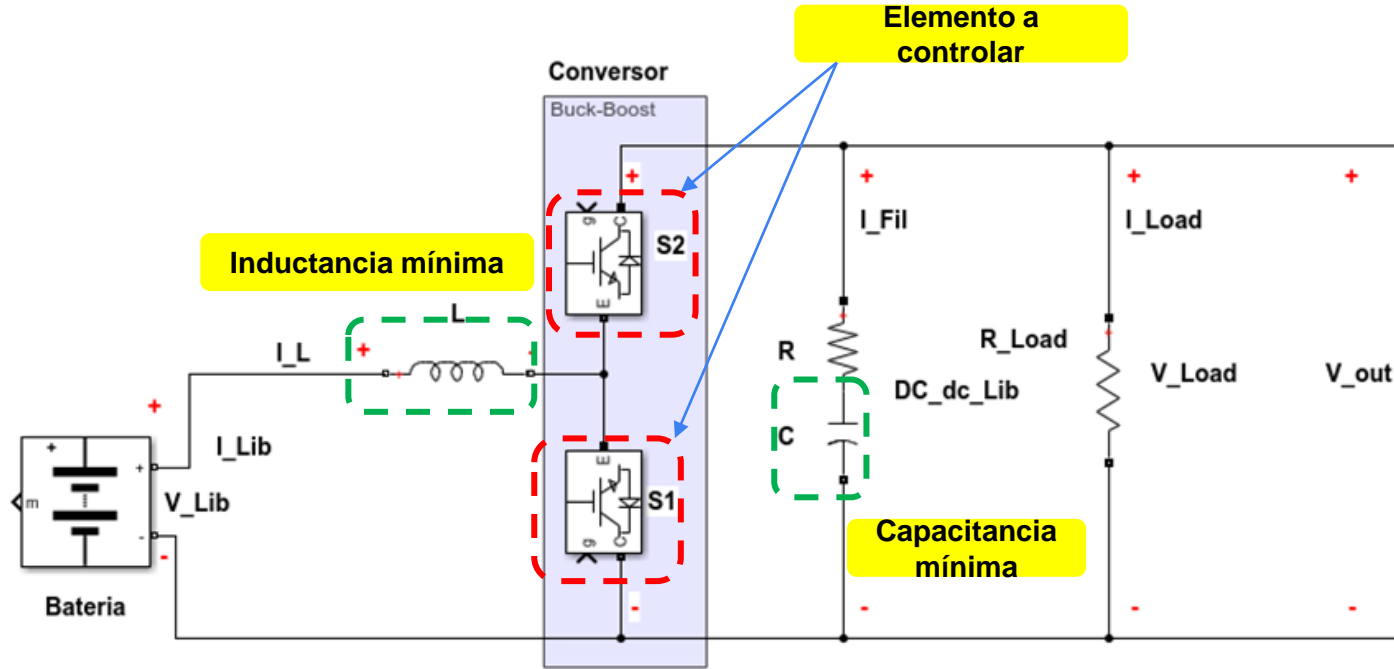
### Control de carga



### Selector de modo de operación



## Diseño del controlador pi para el conversor bidireccional buck-boost dc-dc



## Diseño del controlador pi para el convertor bidireccional buck-boost dc-dc

$$V_s = V_{bat} = V_{Lib}$$

$$V_o = V_{DC\_dc\_Lib}$$

$V_s$  : Voltaje en la fuente

$V_{bat}$  = Voltaje en la batería

$V_{Lib}$  = Voltaje de batería

$V_o$  = Voltaje de salida

$V_{DC\_dc\_Lib}$  = Voltaje a la salida del filtro

### Cálculo del ciclo de trabajo

$$D = 1 - \frac{V_{bat}}{V_{DC\_dc\_Lib}}$$

$$= 1 - \frac{13V}{12.78V}$$

$$D = 0.016923$$

### Cálculo inductancia mínima

$$L \geq \frac{D(1-D)^2 V_o}{2 f_s i_o}$$

$f_s$  = frecuencia de trabajo

$i_o$  = corriente de salida del filtro

$$L \geq \frac{0.016923(1 - 0.016923)^2 (12.78)}{2 \left( \frac{1}{0.0169230} \right) (8.375)}$$

$$L \geq 211.17 \mu H$$

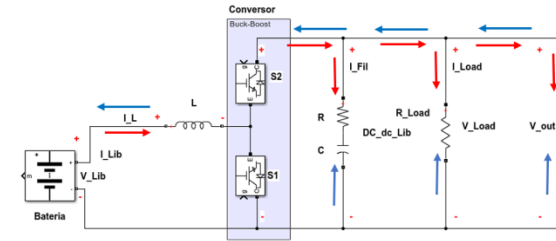
### Cálculo capacitancia mínima

$$C_{min} \geq \frac{i_o D}{f_s \Delta V_o}$$

$$C_{min} \geq \frac{8.375(0.016923)}{\left( \frac{1}{0.0169230} \right) (11.0124 \times 10^{-3})}$$

$$C_{min} \geq 0.22F$$

### Convertor modo Boost



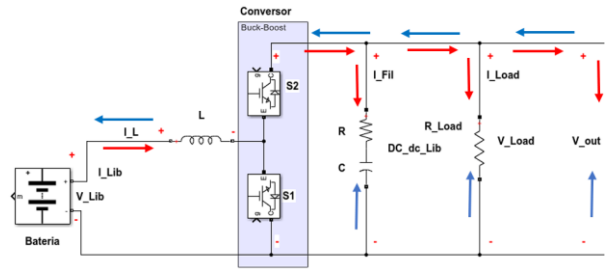
Variación de voltaje en un filtro RC en función del tiempo

$$v(t) = V_{in} \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

# DISEÑO DEL FILTRO.

## Diseño del controlador pi para el conversor bidireccional buck-boost dc-dc

### Conversor modo Buck



### Cálculo del ciclo de trabajo

$$D = \frac{V_{DC\_dc\_Lib}}{V_{bat}}$$

$$= \frac{12.78V}{13V}$$

$$D = 0.9830$$

### Cálculo inductancia mínima

$$L_{Buck} \geq \frac{(1-D)^2 V_o}{2 f_s i_o}$$

$f_s$  = frecuencia de trabajo

$i_o$  = corriente de salida del filtro

$$L \geq \frac{(1-0.9830)^2 (12.78)}{2 \left( \frac{1}{0.9830} \right) (8.375)}$$

$$L \geq 216.75 \mu H \quad L \approx L_{Buck}$$

### Cálculo capacitancia mínima

$$C_{min} \geq \frac{i_o D}{f_s \Delta V_o}$$

$$C_{min} \geq \frac{8.375(0.016923)}{\left( \frac{1}{0.0169230} \right) (11.0124 \times 10^{-3})}$$

$$C_{min} \geq 0.22F$$

Variación de voltaje en un filtro RC en función del tiempo

$$v(t) = V_{in} \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

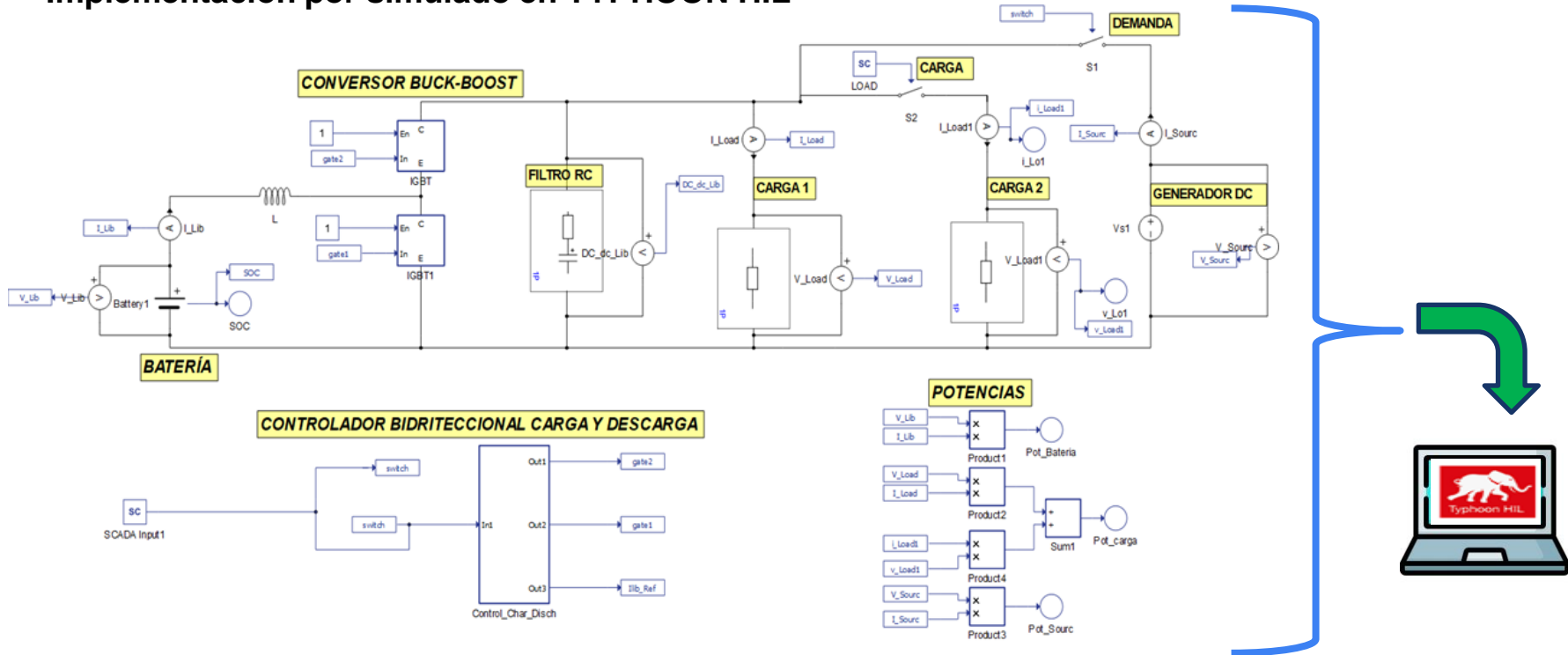
## *Parámetros de diseño conversor bidireccional buck-boost dc-dc.*

Parámetro	Valor
Voltaje Nominal Batería	12.0 V
Carga resistiva 1	8 ohmios
Carga resistiva 2	1 ohmios
Carga inductiva	0H
Control de corriente PI	$K_p = 0.05$ $K_i = 10$
Control de carga PI	$K_p = 40$ $K_i = 2000$
Control descarga PI	$K_p = 0.25$ $K_i = 50$
Periodo de muestreo	100e-6 s
Valores de filtro RC	$C_f = 2$ F $R = 0.058$ $\Omega$ $L = 2$ 00uH



# IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR BIDIRECCIONAL PARA LA BATERÍA

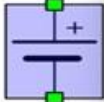
Implementación por simulado en TYPHOON HIL





## Configuración de la batería

Battery



Component (Battery) properties

Battery from library 'core'

Four standard battery types can be chosen. If these do not match the requirements then "User defined" option can be chosen. This will enable the disabled parameters which allows to define the battery SOC curve in details. Battery can be set to have a signal based Look-up table in order to decrease performance load.

For more details please refer to technical note "Battery - Modeling and Application".

General | Signal Processing | Electrical

Battery type: Lead-Acid

Nominal voltage: 12.0 V

Capacity: 1.2 Ah

Initial SOC: 100.0 %

Full charge voltage: 108.0 %

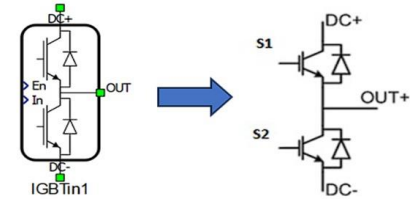
Nominal discharge current: 5.0 %

Internal resistance: 0.25  $\Omega$

Capacity at nominal voltage: 50.0 %

Capacity at exponential zone: 0.9 %

Help OK Cancel



Component (IGBT Leg1) properties

IGBT Leg from library 'core'

Switches and diodes are modeled as ideal switches. There are two options for controlling the converter switches, through digital inputs or using an internal modulator.

weight = 1

Control: internal modulator

Operation mode: Fixed carrier frequency

Carrier frequency (Hz): 10000.0 Hz

Phase operation mode: Fixed carrier phase offset

Carrier phase offset: 0.0 deg

Dead time period: 5e-6 s

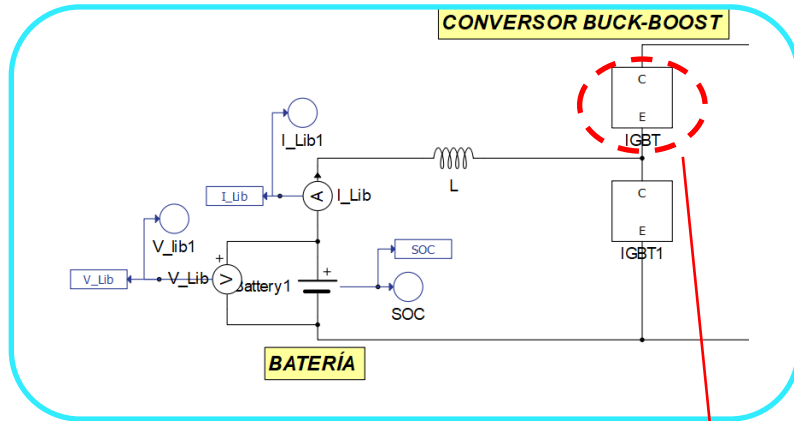
Reference signal [min, max]: [-1.0, 1.0] Load mode: on min

Execution rate: inherit

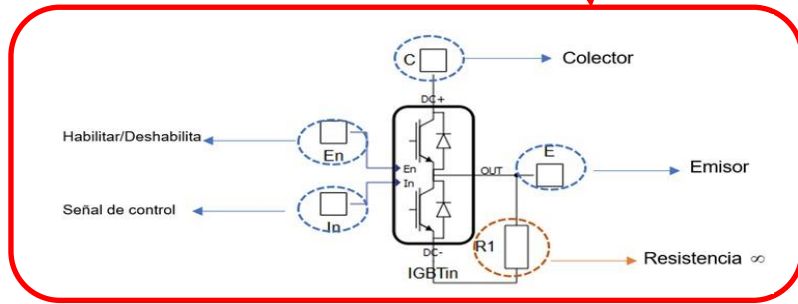
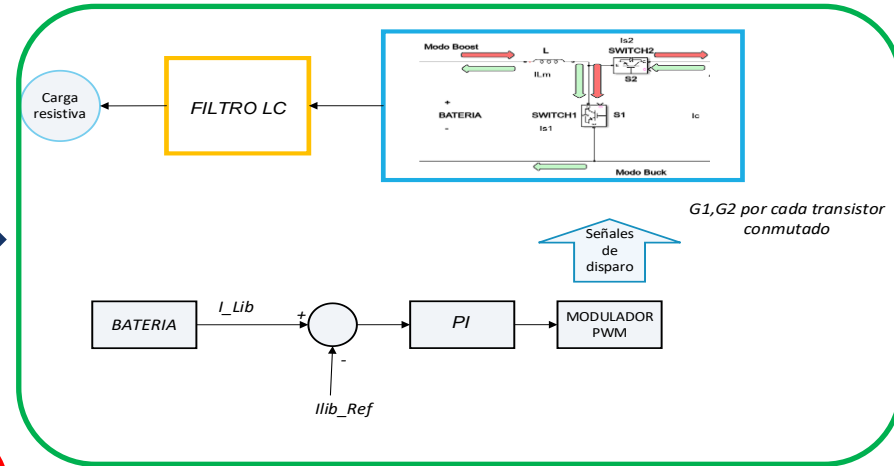
Help OK Cancel

# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL BIDIRECCIONAL EN EL SIMULADOR TYPHOON HIL

## Convertor Buck-Boost

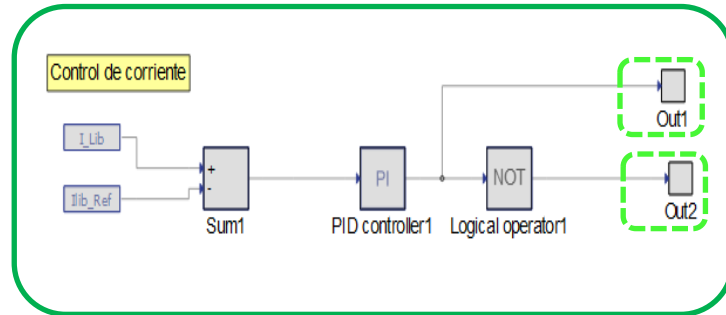
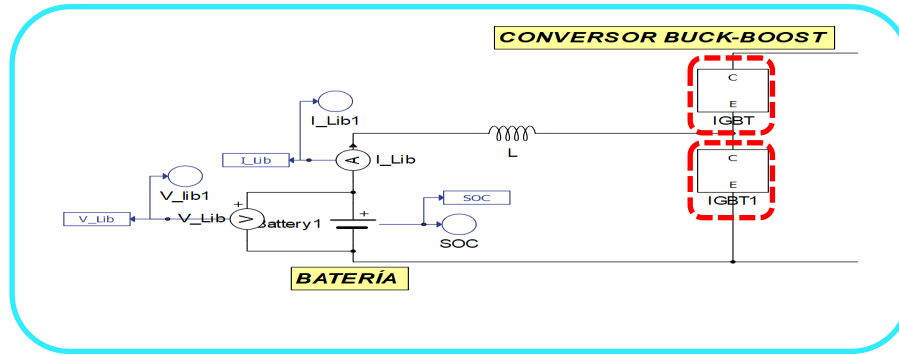


## Control para los transistores IGBT leg

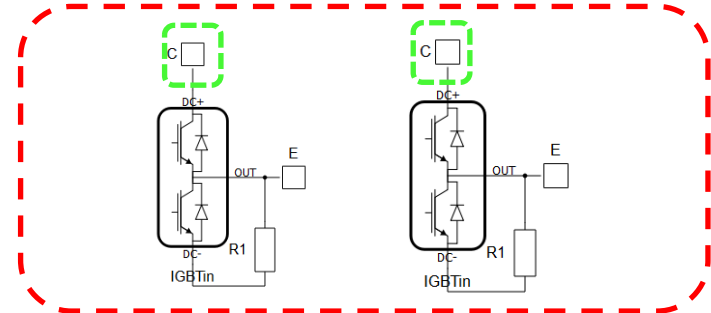
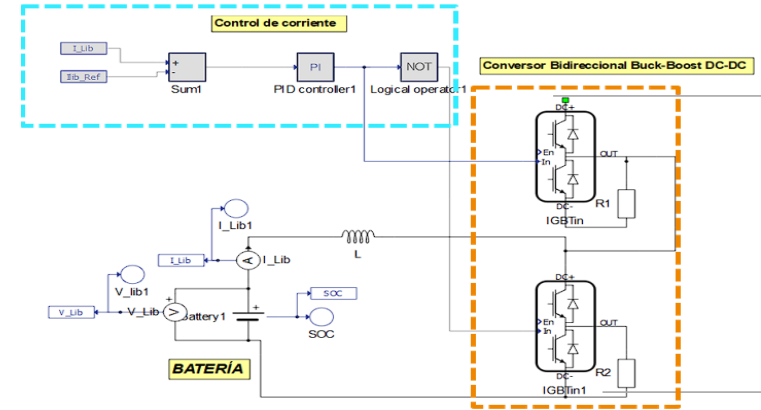


## IGBT leg

## Diseño del simulador del conversor bidireccional buck-boost dc-dc

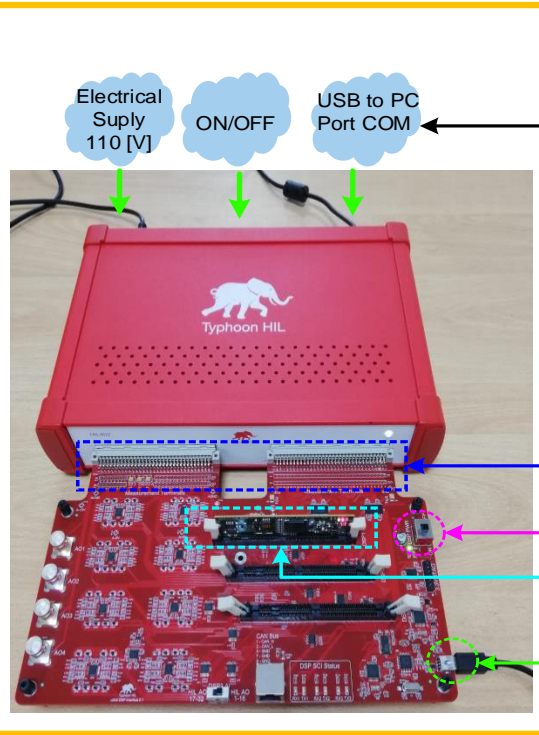
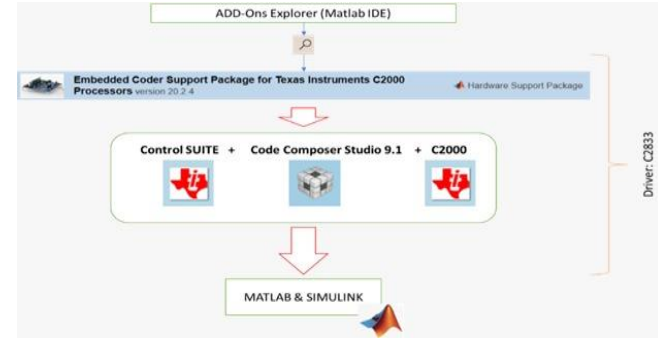


Control de corriente en TYPHOON HIL

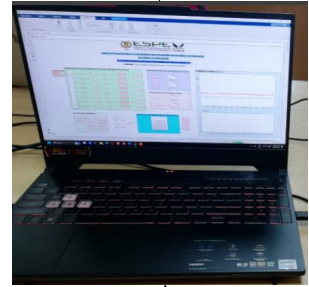


# IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DEL CONTROL BIDIRECCIONAL BUCK BOOST.

## Esquema general de la implementación del sistema



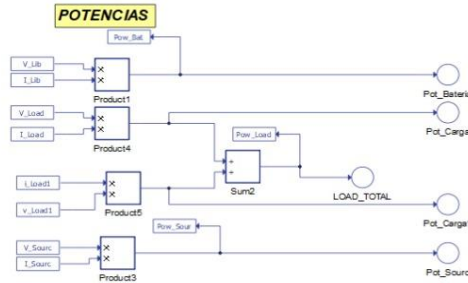
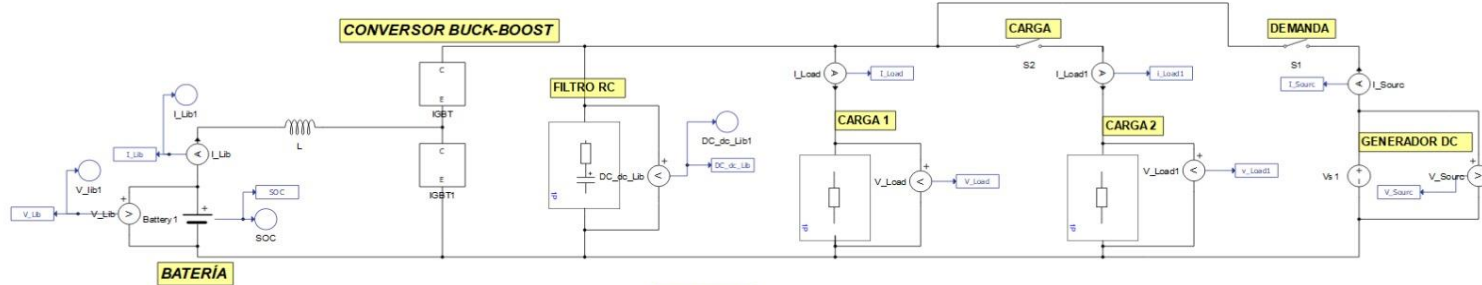
- Typhoon I/O Analog
- ON/OFF
- DSP
- USB to PC Port COM



16 GB de RAM  
2.4 GHz  
RYZEN 7

# IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DEL CONTROL BIDIRECCIONAL BUCK BOOST.

*Implementación de la interfaz de electrónica (convertor bidireccional buck-boost) en TYPHOON HIL*



IGBT Leg 1

Component (IGBTin) properties

IGBT Leg from library 'core'

Switches and diodes are modeled as ideal switches. There are two options for controlling the converter switches, through digital inputs or using an internal modulator.

weight = 1

General Measurements Timing Advanced Losses Experimental Exts

Control: Digital input per leg

Dead time period: 0 s

Execution rate: inherit

S1: 15

Gate control enabling:

Sen: 13 Sen\_logic: active high

DTV detection:

Help OK Cancel

IGBT Leg 2

Component (IGBTin) properties

IGBT Leg from library 'core'

Switches and diodes are modeled as ideal switches. There are two options for controlling the converter switches, through digital inputs or using an internal modulator.

weight = 1

General Measurements Timing Advanced Losses Experimental Exts

Control: Digital input per leg

Dead time period: 0 s

Execution rate: inherit

S1: 10

Gate control enabling:

Sen: 13 Sen\_logic: active high

DTV detection:

Help OK Cancel

Swith Carga

Component (S2) properties

Single Pole Single Throw Contactor from library 'core'

There are three ways to control the contactor:

- through digital input signal,
- through signal input from signal processing part of the model
- by software from control panel which can override the previous two.

Switches in the contactor are electrically ideal, meaning when closed the resistance is zero, when open the resistance is infinite. Transition time can be defined for both transitions separately. If zero current turn of option is activated, the contactor will open when the control signal is not active and current flowing through it falls to zero.

General Initial state Timing Extras

Control source: Digital input

Sa: 27 Sa logic: active high

Feedback output:

Help OK Cancel

Swith selector Modo

Component (S1) properties

Single Pole Single Throw Contactor from library 'core'

There are three ways to control the contactor:

- through digital input signal,
- through signal input from signal processing part of the model
- by software from control panel which can override the previous two.

Switches in the contactor are electrically ideal, meaning when closed the resistance is zero, when open the resistance is infinite. Transition time can be defined for both transitions separately. If zero current turn of option is activated, the contactor will open when the control signal is not active and current flowing through it falls to zero.

General Initial state Timing Extras

Control source: Digital input

Sa: 28 Sa logic: active high

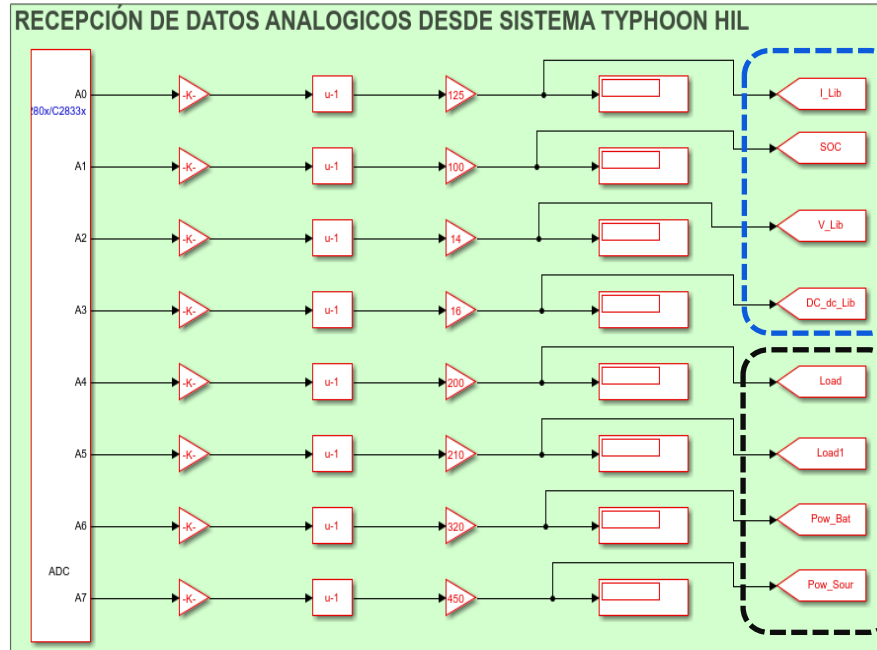
Feedback output:

Help OK Cancel



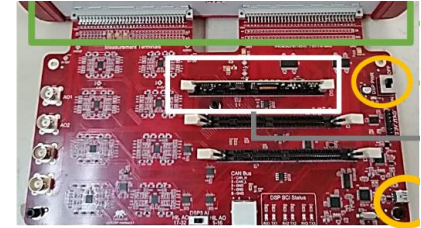
## Implementación del controlador del inversor de dos niveles en el dsp

### Recepción de datos analógicos provenientes de TYPHOON HIL



Señales para el control

Señales para gráficas



### Acondicionamiento de señales para comunicación

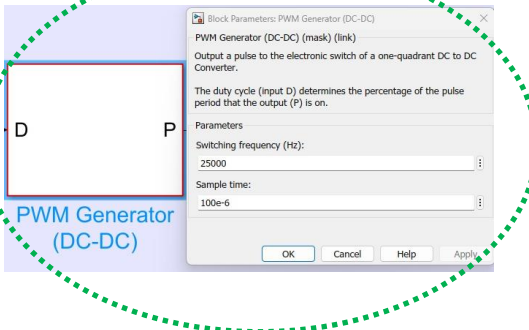
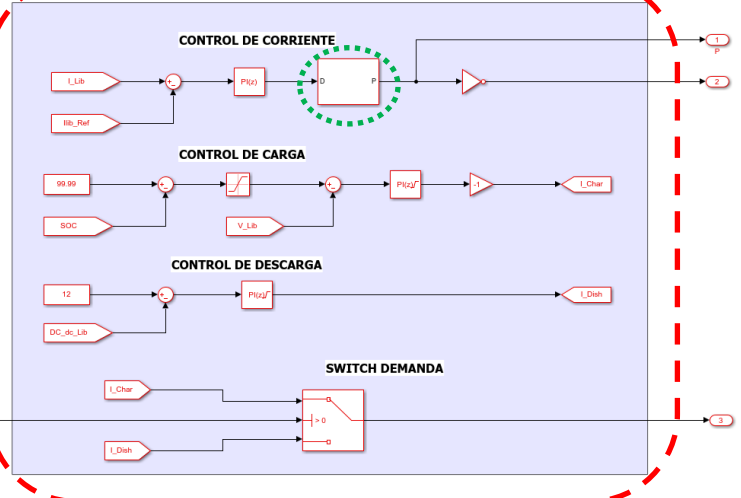
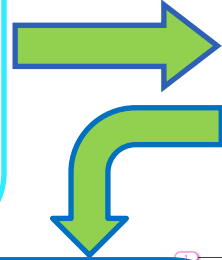
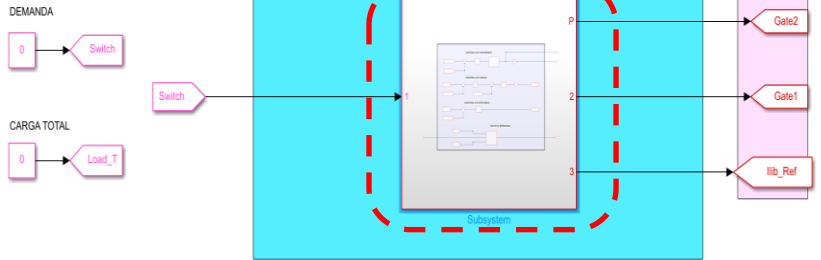
Y6 Analog Outputs Settings for HIL U

Output	Signal	Scaling	Offset (Vdc)	Lower/Upper Limit (Vdc)	Lock
A01	i_Lib1	28 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A02	SOC	20.2 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A03	V_Lib1	2.82 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A04	DC_dc_Lib1	3.25 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A05	Pot_Carga	42 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A06	Pot_Carga1	42 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A07	Pot_Bateria	64 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>
A08	Pot_Sourc	90 units per 1 Vdc	0.0	-10.0 10.0	<input type="checkbox"/>

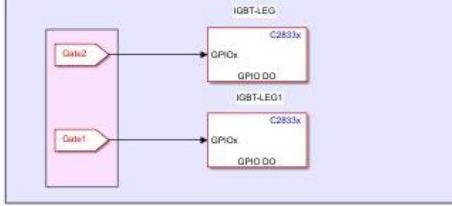


## Control en Simulink- Software

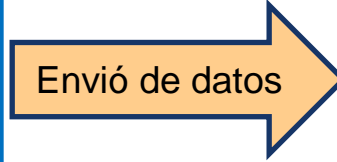
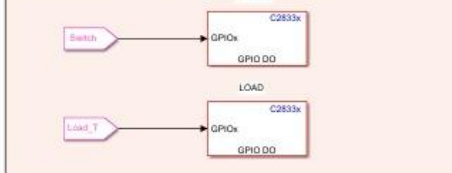
### CONTROLADOR BIDIRECCIONAL (CHAR/DISCH)



### ENVIO DE DATOS HACIA CONTROLADOR BUCK-BOOST



### ENVIO DE DATOS PARA DEMANDA Y CARGA



### TYPHOON HIL-Hardware





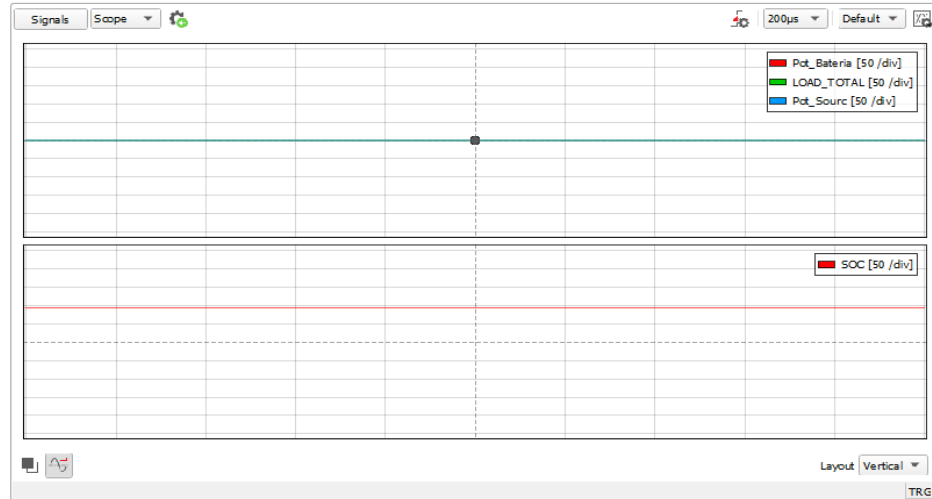
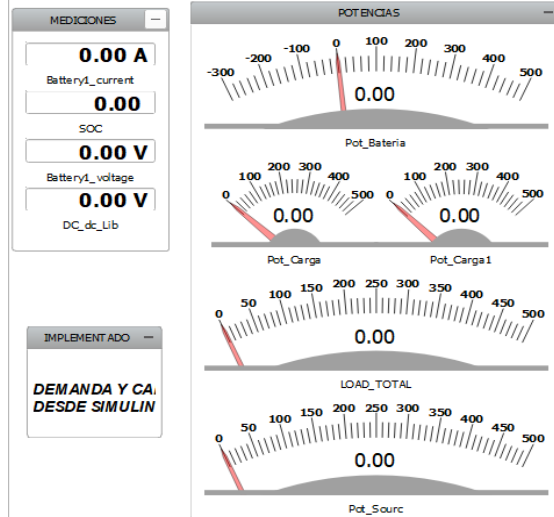
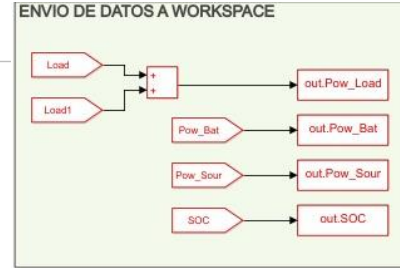
## Implementación de la interfaz de monitoreo del sistema

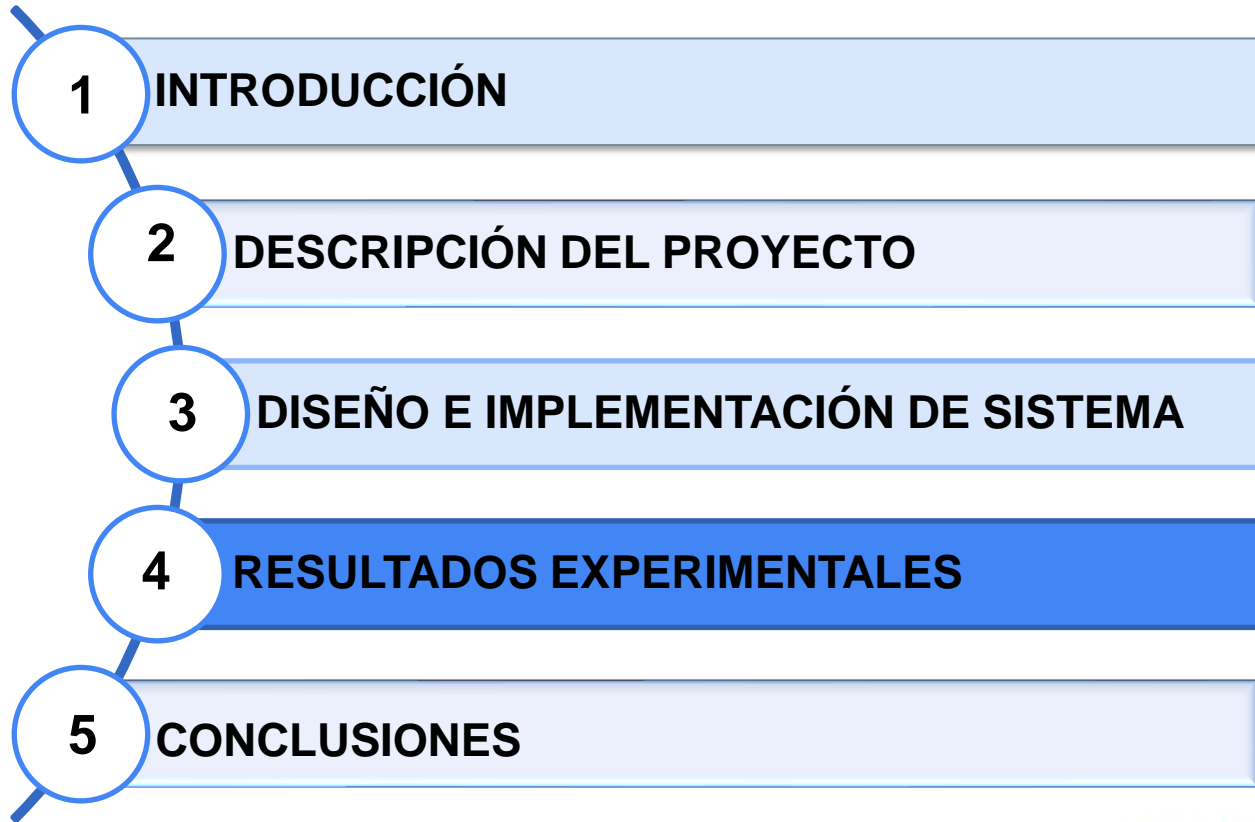


Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica  
"Control Bidireccional de una Batería Implementado en el Sistema

Carrera en Electrónica y Automat.

Autor: Henry Roberto Sumba Guamán, Jairo Joel

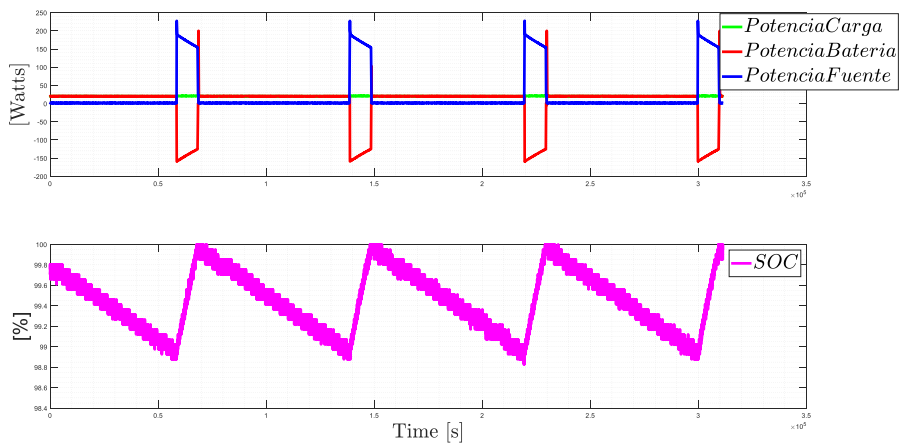




Respuestas de potencias carga, batería, generador, y SOC con 8 Ω de carga en Typhoon HIL y Real

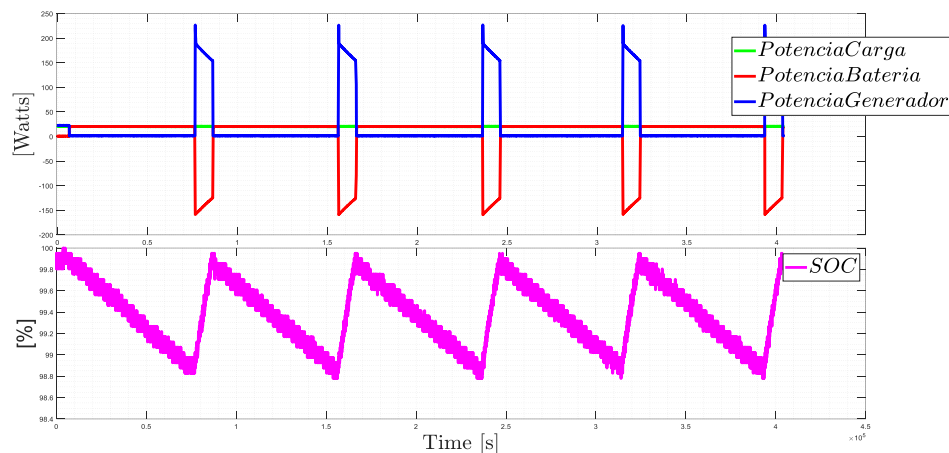
## Simulado en TYPHOON HIL

CONTROL BIDIRECCIONAL BATERIA



## Experimental en TYPHOON HIL

CONTROL BIDIRECCIONAL BATERIA



Tiempos [s] e <sup>5</sup>	Potencia Carga [W]	Potencia Bateria [W]	Potencia Generador [W]	SOC%
1.3-1.4	21.05	-157.8	187.8	99.88
2.1-2.2	21.05	-158.1	188.02	99.88
3.0-3.1	21.05	-155.89	179.2	99.88

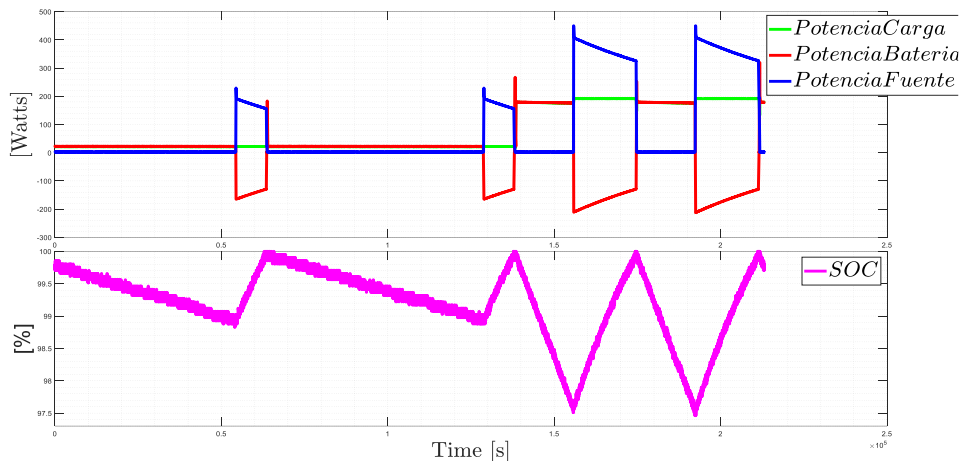
Tiempos [s] e <sup>5</sup>	Potencia Carga [W]	Potencia Bateria [W]	Potencia Generador [W]	SOC%
2.3-2.4	20.85	-157.6	185.8	99.78
3.1-3.2	20.95	-155.1	185.3	99.78
3.9-4.0	20.85	-156.4	186.3	99.78



Respuestas de potencias carga, batería, generador, y SOC con con variación de carga Typhoon HIL y Real

## Simulado en TYPHOON HIL

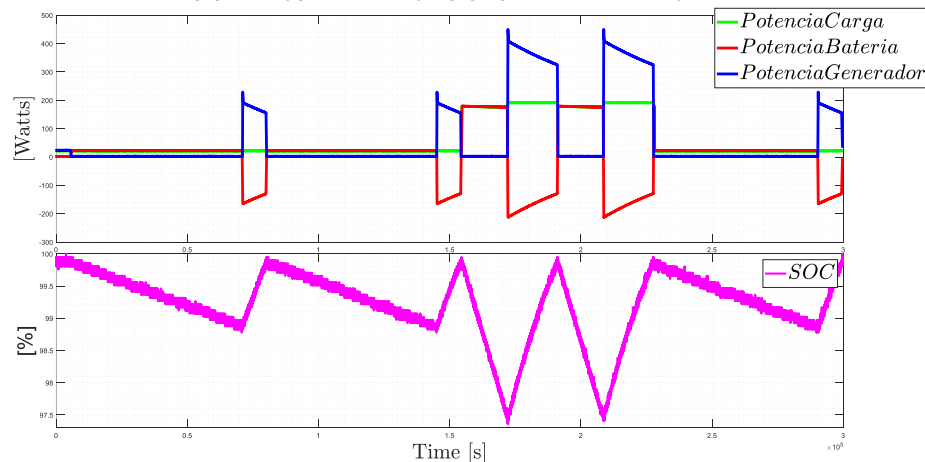
CONTROL BIDIRECCIONAL BATERIA



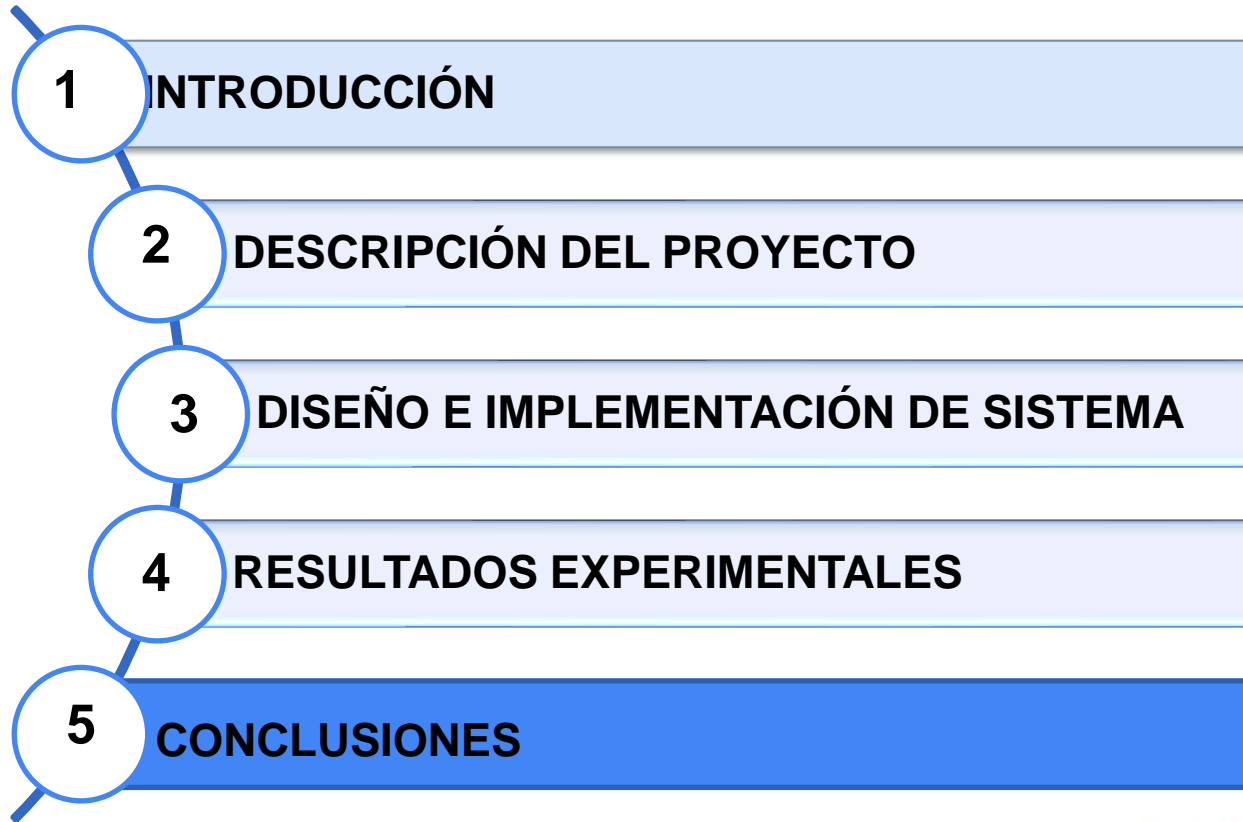
Tiempos [s] $e^5$	Potencia Carga [W]	Potencia Batería [W]	Potencia Generador [W]	SOC%
1.2-1.3	21.93	-162.5	189.6	99.88
1.5-1.7	191.7	-207.9	402.1	97.51
1.9-2.1	191.6	-208.3	404.3	97.46

## Experimental en TYPHOON HIL

CONTROL BIDIRECCIONAL BATERIA



Tiempos [s] $e^5$	Potencia en la Carga [W]	Potencia Batería [W]	Potencia Generador [W]	SOC%
1.4-1.5	21.82	-162.8	188.7	99.78
1.7-1.9	191.5	-212.5	405.8	97.36
2.0-2.1	191.5	-208.6	405.5	97.41
2.9-3.0	21.72	-163.7	190.1	98.78

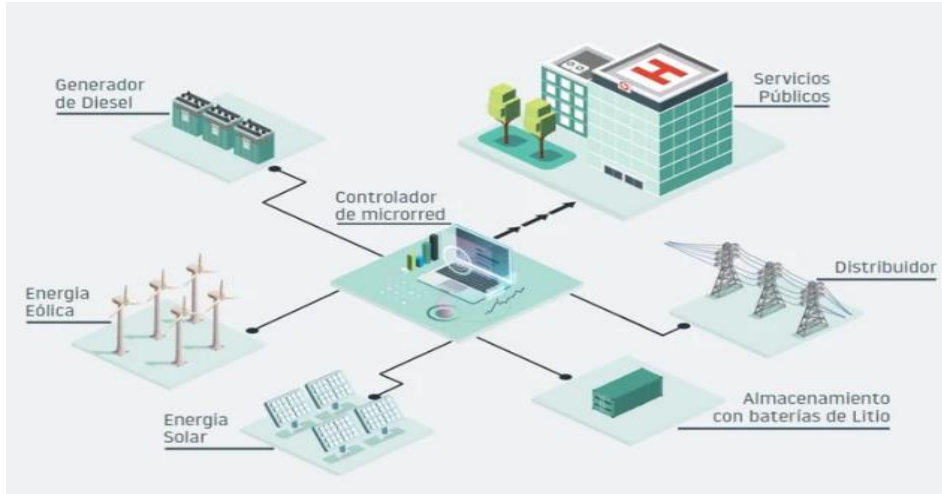


- El controlador bidireccional propuesto en este trabajo de investigación, considera el estado de carga de la batería SOC, como entrada al controlador, es decir toma en cuenta el porcentaje de carga que posee la batería en tiempo real, para de esta forma brindar un mejor desempeño a la salida del mismo, si el estado de carga está por debajo de un cierto valor de referencia, el controlador activa modo carga y el convertor trabaja como Buck, caso contrario el controlador activa modo descarga y el convertor trabaja en modo Boost.
- Este trabajo también propone soluciones para el entorno de programación dentro del Editor Esquemático de Typhoon HIL, ya que, durante el desarrollo de esta tesis, se logró un artificio de conexión del componente IGBT Leg, el único componente disponible para la realización del convertor Buck-Boost, en este entorno, llegando a la conclusión de que, se puede implementar cualquier convertor DC/DC dentro la Solución Typhoon HILL.
- En cuanto al diseño e implantación del controlador bidireccional de baterías en sus dos modos de operación, se concluye que este diseño se puede llevar a aplicaciones industriales, puesto que los controladores fueron probados en dispositivos de control reales, que se incluyen dentro de los paquetes dispositivos que conforman los convertidores comerciales.
- La estrategia de controladores tradicionales PI's para el convertor Buck-Boost DC/DC implementado tanto en simulación y de forma experimental, presenta un buen desempeño, en condiciones de carga constante en el bus, así como en condiciones de cambio de cargas, este desempeño también se ve reflejado cuando el convertor está operando en ambos modos, Boost cuando entrega energía al bus, y Buck cuando recibe energía desde el generador.
- Durante la experimentación del sistema en lazo abierto, se comprobó que, los parámetros del sistema de identificación de Matlab, arrojan valores con los cuales se obtuvo constantes de sintonización Lambda, los cuales al ser implementados en simulación no brindaron el desempeño requerido para este tipo de controladores, por lo que se optó por una sintonización de manera heurística, tomando en cuenta que las respuestas de los controladores deben ser rápidas y en concordancia con la velocidad de conmutación de los IGBT's.



## TRABAJOS FUTUROS

Finalmente, se tiene de referencia trabajos anteriores que están orientados hacia la creación de una Microrred completa dentro del sistema Hardware in the Loop, en este caso particular el sistema Typhoon HIL, dentro de esta misma línea se encamina el trabajo de investigación y experimentación realizado en esta tesis, es decir uno de los trabajos futuros a los que puede aplicarse esta investigación, es al desarrollo e implementación de un sistema de gestión de energía de una microrred, donde esta cuenta con sistemas de generación como paneles fotovoltaicos, generadores eólicos, generadores Diesel, entre otros, y sistemas de almacenamiento como un banco de baterías, todos estos sistemas interconectados entre sí y controlados de tal manera que alimenten a una carga domestica completa, y además puedan interconectarse a la red de distribución de energía del país.





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

## Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

### Electrónica y Automatización

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de ingeniero en Electrónica y Automatización

"Control bidireccional de un batería implementado en el sistema TYPHOON HIL ."

#### ***Autores:***

Sumba Guamán, Henry Roberto  
Siza Hilaño, Jairo Joel

Phd. Llanos Proaño, Jaqueline del Rosario , ***Directora***





DOWNLOAD



Henry Sumba  
hrsumba@espe.edu.ec  
Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)  
[Change password](#)  
[Change activation key](#)

Typphoon HIL Support Center

Knowledgebase [Open a New Ticket](#) [Tickets \(1\)](#)

**IGBT request #004513**

Basic Ticket Information		User Information	
Ticket Status:	Closed	Name:	Henry Sumba
Department:	South America	Email:	hrsumba@espe.edu.ec
Create Date:	7/3/23 16:34	Phone:	

**Ticket Details**

HIL device: HIL402

**Henry Sumba posted 7/3/23 16:34**

Support ticket opened in behalf of the user after the following e-mail:

*Solicito soporte técnico para acceso a toolbox de Typhoon HIL Control Center acceso a elemento de soporte mediante mi cuenta y me pide actualizar clave coloco la clave que tengo en mi control center dan alguna respuesta...*

**Marcos Moccellini posted 7/3/23 16:34**

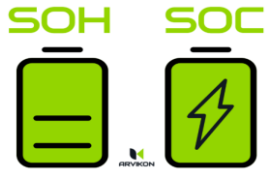
Dear user,  
You are receiving this automated message because your e-mail address is not registered under any organization. If you are using a [free Virtual HIL license](#), note that you are **not qualified** for receiving technical support.

Creación de ticket para soporte técnico de Typhoon HIL



Desarrollado por TI indagamos en convertidores comerciales y estos internamente programa una DSP, y a por llevar al mundo real este sistema y se ocupa dispositivos reales

Para llevarlo al mundo real, lo mismo que se hizo en este trabajo, cojo la DSP, armo el convertidor y lanzo el prototipo y a comercial, de forma laboratorio las baterías crear el convertidor, y la DSP en una interface



Es un indicador del estado de la batería que se usa para la preservación de la vida útil de la batería, por que con este parámetro se puede ver hasta donde va a a cargar y descargar