

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE POTENCIA PORTÁTIL BASADO EN SISTEMAS MICROPROCESADOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA EQUIPOS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE UAVS Y APLICACIONES ÓPTICAS

Paguay Cristian, Quinatoa Katherine, Marcelo Pozo, Eduardo Ávalos  
 Departamento de Automatización y Control Industrial-Escuela Politécnica Nacional  
 {cristian.paguay, katherine.quinatoa, eduardo.avalos, marcelo.pozo}@epn.edu.ec

**Abstract-** En este artículo se presenta como se realiza la administración y gestión de la energía brindada por tres fuentes de alimentación, desde la red eléctrica, desde baterías o desde paneles solares, que se pueden conectar a equipos existentes en el laboratorio de uavs y aplicaciones ópticas de la EPN. El equipo cuenta con dos baterías, la primera conectada al sistema para almacenar energía como respaldo, mientras que la segunda está conectada al equipo. Mediante la interconexión de circuitos electrónicos controlados por medio de un sistema microprocesado se realiza el disparo de los semiconductores de potencia para conmutar las diferentes opciones de fuente de energía. Se cuida que las baterías lipo se cargan de acuerdo a la curva de carga recomendada por el fabricante para evitar daños en la misma y aumentar su vida útil. En la interfaz en la pantalla nextion se muestra el estado de las baterías mostrando avisos y alarmas, así como también se puede conocer las fuentes que se encuentren conectadas al equipo y cuál de ellas se encuentra suministrando energía al mismo.

- Monitorización contante de la energía consumida.
- El control y reducción de las pérdidas generadas en la transferencia de la energía.

## B. Almacenamiento de energía eléctrica

Debido al uso de paneles solares mismos que presentan una variación e intermitencia en la generación de energía en el tiempo, se hace indispensable almacenar energía para su posterior uso. Existen varias formas de almacenar energía como en capacitores, pilas de combustible, baterías, etc. [5].

Existen diferentes tipos de baterías entre las cuales se encuentran las baterías de polímero de litio, mismas que se utilizaron en este proyecto debido a la accesibilidad en el laboratorio [6].

## C. Baterías de polímero de litio (lipo)

Las baterías LIPO constan de un electrodo positivo (ánodo), un electrodo negativo (cátodo) y un electrolito microporoso con lo que se logra almacenar más energía en menor tamaño. La descarga de la batería se da cuando los iones se dirigen al cátodo desde el ánodo atravesando el electrolito [7].

### 1) Límites de operación

Mientras mayor sea la capacidad de las celdas mayor energía puede proporcionar la batería, por ende, se consigue más autonomía. En la tabla 1 se observan los límites de operación de las baterías de Litio-cobalto con algunas variaciones en su composición [8].

## I. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realiza la administración de energía obtenida desde tres fuentes de alimentación desde la red eléctrica, desde baterías o desde paneles solares. El acople de la fuente de energía se realiza por medio de convertidores estáticos comerciales. Tanto para el almacenamiento de energía como para la alimentación de la carga se utilizan baterías LIPO, mismas que son cargadas siguiendo la curva de carga recomendada por el fabricante para este tipo de baterías [1], [2].

### A. Administración de energía

El adecuado uso de la energía es necesario en equipos que requieran mantenerse en operatividad durante prolongados periodos de tiempo [3], [4], esto se logra mediante:

- La identificación de pérdidas en el sistema.
- La identificación de las causas de las pérdidas.

TABLA 1  
 LÍMITES DE VOLTAJE POR CELDA [8]

Voltaje nominal	Típico final de descarga	Voltaje máximo	Notas
3.6V	2.8-3.0V	4.2V	Voltaje nominal clásico.
3.7V	2.8-3.0V	4.2V	Alcanzado por baja resistencia

			interna
3.8V	2.8-3.0V	4.35V	El cargador debe tener un voltaje correcto de carga completa para mayor capacidad.
3.85V	2.8-3.0V	4.4V	Recubrimiento de superficies y aditivos electrolíticos. El cargador debe tener un voltaje correcto de carga completa para mayor capacidad.

2) Curva de carga

La carga de las baterías LIPO se realiza siguiendo la curva de carga que consta de: la etapa de carga a corriente constante que se realiza hasta alcanzar el voltaje máximo de la celda, luego se sigue con la etapa de saturación donde la corriente disminuye hasta llegar entre el 3-5% de la corriente nominal de la batería [8], como se observa en la Fig. 1

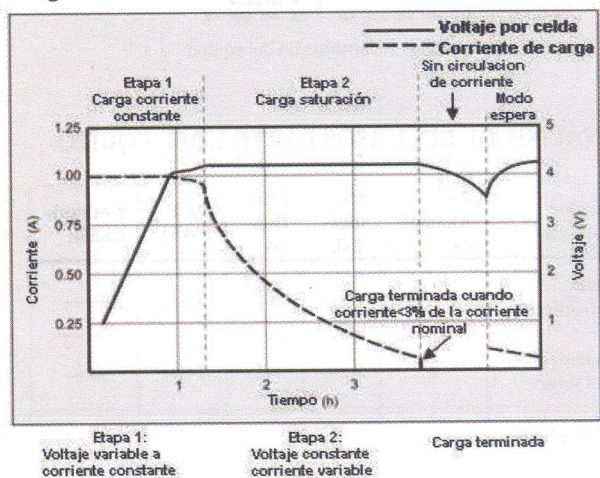


Fig. 1 Curva de carga de la batería LIPO [8]

3) Precauciones para la carga

Se deben tomar ciertas consideraciones para que la vida útil de la batería no disminuya a pesar de cargar la batería siguiendo la curva de carga [8], tales como:

- No se debe tener conectada la carga para no confundir a la batería con cargas parásitas [8].
- No se debe cargar ni descargar a temperaturas elevadas ( $T > 45^{\circ}\text{C}$ ) [8].
- No es necesaria la carga completa, cargas parciales benefician a la vida útil de la batería [8].

D. Convertidores comerciales dc-dc

Las características principales de los convertidores comerciales utilizados en este proyecto se describen a continuación.

1) Convertidor reductor LM2596

En la Fig. 2 se muestra el convertidor reductor que puede variar su salida mediante un potenciómetro y en tabla 2 se muestran las principales características del convertidor reductor.

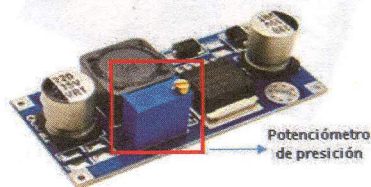


Fig. 2 Convertidor comercial LM2596 [9]

TABLA II  
CARACTERISTICAS CONVERTIDOR LM2596[10]

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	2.8-40 V
Vout (Min-Max)	1.25-25 V
Iout (Max)	3 [A]
Nº Salidas Reguladas	1
Frecuencia de Switcheo	65 KHz
Control Mode	Voltaje
Eficiencia de conversión	92% (más alta)
Temperatura de Operación	-40 a 125

2) Convertidor elevador XL6009

En la Fig. 3 se observa el convertidor elevador, mientras en la tabla 3 se tienen sus principales características.

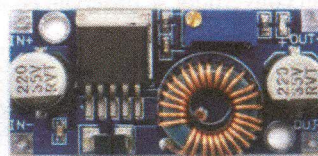


Fig. 3 Convertidor comercial XL6009 [11]

TABLA III  
CARACTERISTICAS CONVERTIDOR XL6009 [12]

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	3.8-32 V
Vout (Min-Max)	1.25-35 V
Iout (Max)	3 [A]
Nº Salidas Reguladas	1
Frecuencia de Switcheo	400 KHz
Control Mode	Voltaje
Eficiencia de conversión	<94%
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

3) Convertidor reductor-elevador LTC3780

En la Fig. 4 se observa el convertidor LTC3780, este convertidor se utiliza de forma analógica y digital mediante un arreglo que se detalla en la Fig. 10. Las principales características se muestran en la tabla 4.

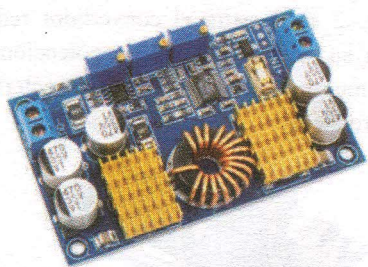


Fig. 4 Convertidor comercial LTC3780 [13]

TABLA IV  
CARACTERÍSTICAS CONVERTIDOR LTC3780[14]

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	5-32 V
Vout (Min-Max)	1-30 V
Iout (Max)	8 [A]
.Nº Salidas Reguladas	3 (CV-CC-UV)
Frecuencia de Switcheo	65 KHz
Control Mode	Voltaje de salida Corriente carga Voltaje de entrada
Eficiencia de conversión	<94%
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

4) Convertidor AC-DC

En la Fig. 5 se observa el convertidor AC-DC que brinda una salida de 12VDC, mientras las principales características del convertidor se observan en la tabla 5.

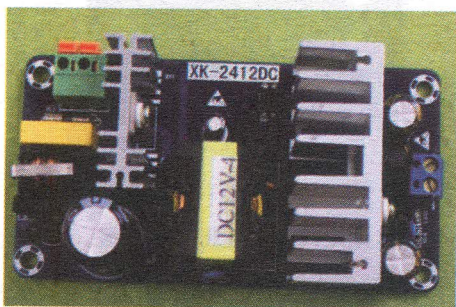


Fig. 5 Convertidor comercial AC-DC (12V) [15]

TABLA V  
CARACTERÍSTICAS CONVERTIDOR AC-DC [15]

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max) (CA)	85-265 V
Vout (Min-Max)	12 V
Iout (Max)	6-8[A]
Nº Salidas Reguladas	0
Frecuencia de CA	50-60Hz
Voltaje de rizado	<=200mV
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

II. METODOLOGÍA

A. Diseño del sistema

El equipo se encuentra dividido en dos partes como se muestra en la Fig. 6 que depende del uso de recursos, tabla 6 para modo parte uno y en la tabla 7 para modo parte dos.



Fig. 6 Constitución del equipo

TABLA VI  
ANÁLISIS DE RECURSOS PARTE 1 DEL EQUIPO

Actuador, sensor, etc.	IN Analógica	IN digital	OUT Digital	OUT PWM	Comunicación
Switch Electrónicos	-----	-----	11	-----	-----
Corriente panel solar	1	-----	-----	-----	-----
Voltaje panel solar	1	-----	-----	-----	-----
Corriente batería de respaldo	1	-----	-----	-----	-----
Temperatura	1	-----	-----	-----	-----
Voltaje celdas Batería de respaldo	3	-----	-----	-----	-----
Voltaje bus DC	1	-----	-----	-----	-----
Señal control convertidor DC-DC	-----	-----	-----	1	-----
Ventilador	-----	-----	1	-----	-----
Detección batería carro	-----	1	-----	-----	-----
Detección red eléctrica	-----	1	-----	-----	-----
Comunicación entre microcontroladores	-----	-----	-----	-----	2
Comunicación Pantalla	-----	-----	-----	-----	2

TABLA VII  
ANÁLISIS DE RECURSOS PARTE 2 DEL EQUIPO

Actuador, sensor, etc.	IN Analógica	IN digital	OUT Digital	OUT PWM	Comunicación
Switch Electrónicos		----	7	----	----
Corriente bus DC	1	----	----	----	----
Corriente de la batería parte 2	1	----	----	----	----
Voltaje bus DC	1	----	----	----	----
Temperatura	1	----	----	----	----
Voltaje celdas batería de respaldo	3	----	----	----	----
Señal control convertidor DC-DC	----	----	----	1	----
Ventilador	----	----	1	----	----
Aviso estado de batería (LED)	----	----	2	----	----
Comunicación entre microcontroladores	----	----	----	----	2

A partir del análisis de recursos se concluye que un microcontrolador ATMEGA164P cumple las necesidades de la parte 1 y un microcontrolador ATMEGA328P cumple las necesidades de la parte 2.

Los convertidores comerciales mencionados en la sección 5, se encuentran acoplados en la parte 1 como se muestra en la Fig. 7. Para la parte 2 se usa la misma configuración exceptuando el acople de las fuentes de alimentación.

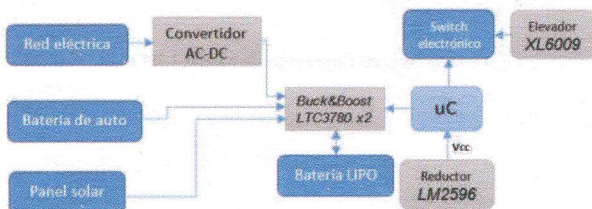


Fig. 7 Distribución de convertidores en el equipo.

B. Sistema electrónico de potencia

Se emplean semiconductores de potencia para la activación de partes de equipo, mediante la creación de switches electrónicos de estado sólido como se observa en la Fig. 8, donde un diodo se usa para evitar el retorno de corriente por source.

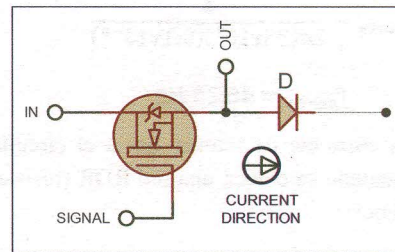


Fig.8 Arreglo mosfet-diodo

1) Circuito de disparo y aislamiento

Para el encendido del mosfet se requiere un voltaje mínimo entre gate-source de 4V según el fabricante. Debido a que las fuentes de alimentación llegan hasta un voltaje de 26V se utiliza un convertidor elevador para la activación del mosfet con un voltaje de 30.

En la Fig. 9 se observa que el optoacoplador es activado por una señal emitida desde el microcontrolador, mientras una resistencia en el emisor del opto apaga el mosfet cuando ya no se tenga la señal.

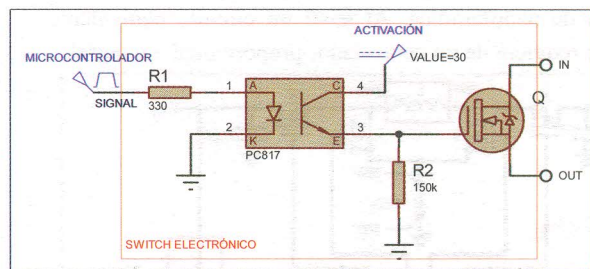


Fig.9 Diagrama esquemático del switch electrónico

C. Cargador de las baterías lipo

Se implementó un circuito como se puede ver en la Fig. 10 para el acondicionamiento de una señal PWM del microcontrolador, cuya finalidad es realizar un control desde el microcontrolador sin la necesidad de manipular el potenciómetro del convertidor comercial.

Inicialmente se implementa un filtro pasa-bajos cuya frecuencia de corte es de 5Hz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Tomando como valor de capacitor  $C_1=0.1\mu F$  se procede a calcular el valor de resistencia:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi R_1 (0.1 \times 10^{-6})} = 50$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi (50) (0.1 \times 10^{-6})} = 31.83k\Omega$$

Tomando como valor estándar de resistencia se tiene que  $R_1=33K\Omega$ . Con los valores anteriores se tiene que la frecuencia de corte del filtro pasa bajos es:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi(33 \times 10^3)(0.1 \times 10^{-6})}$$

$$f_{corte} = 48.23 \text{ Hz}$$

Para evitar una corriente de retorno hacia el circuito de control implementado se coloca una red RDR (resistencia - diodo - resistencia).

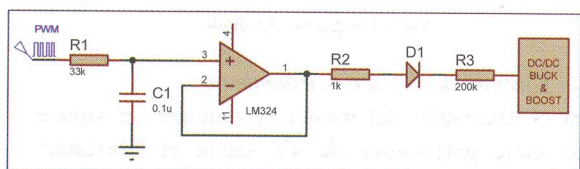


Fig.10 Circuito de control para los convertidores comerciales

En la Fig.11 se observa la simplificación de la planta a controlar, como se observa el control se realiza sobre un circuito RL, a pesar de que se tienen capacitores en el esquema principal del convertidor DC/DC, estas capacitancias son despreciables ya que se encuentran en el orden de nanofaradios. Al tener un circuito equivalente RL se requiere de un controlador proporcional e integral.

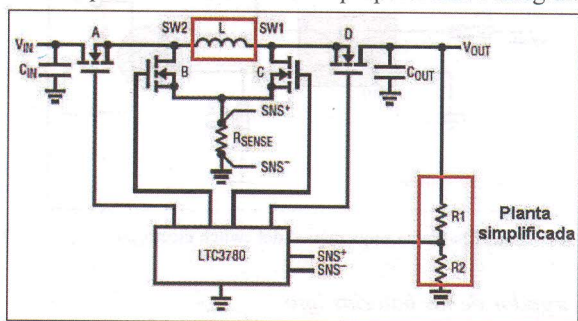


Fig.11 Circuito simplificado convertidor DC-DC comercial

En la Fig. 12 se tienen los retardos que ingresan al sistema debido al circuito que se requiere para el control del convertidor DC/DC comercial. Mientras en la Fig. 13 se encuentra el diagrama de bloques del sistema, debido a los retardos que se generan no se tiene un sistema síncrono y la planta es de tipo RL.

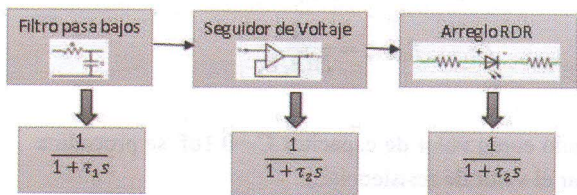


Fig.13 Retardos en el sistema

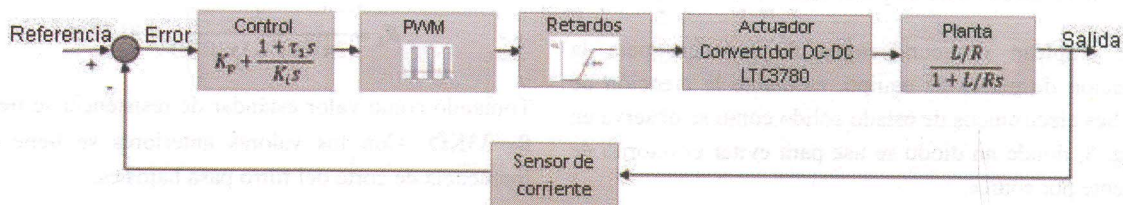


Fig. 12 Diagrama de bloques de la planta

En la Fig. 14 se muestra la subrutina para la carga se realiza a corriente constante y voltaje variable hasta alcanzar el valor de 4.15V por celda, cuando el voltaje sea mayor a este valor se carga a voltaje constante y corriente variable hasta que la corriente sea menor al 5% de la corriente nominal de la batería como se va a cargar baterías de 5000mAh la corriente debe ser inferior a 250mA.

Para mantener la corriente constante con un voltaje variable se implementa un controlador PI como se muestra en la Fig. 15. Inicialmente se censa la corriente en la batería, luego se almacena la salida y error anterior, para calcular el error se resta la corriente de referencia menos la corriente censada.

Finalmente se calcula la salida sumando la parte proporcional e integral y esta salida se envía al OCR2A para controlar el convertidor DC/DC.

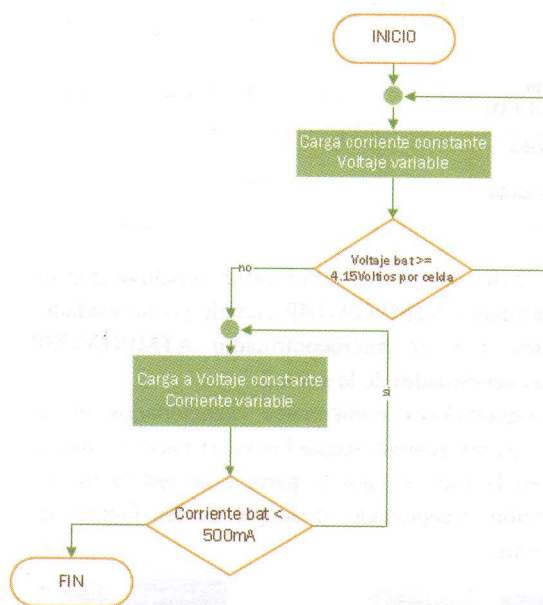


Fig.14 Diagrama de flujo carga de batería LIPO

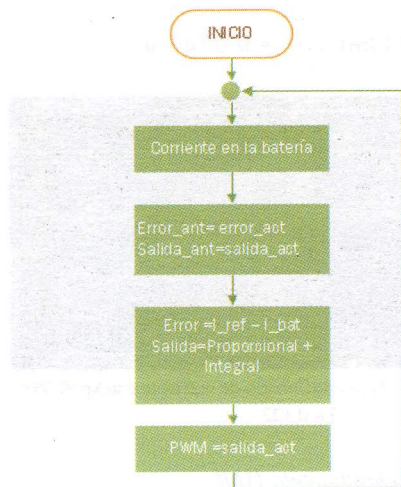


Fig.15 Diagrama de flujo del controlador PI

D. Comunicación en el equipo

Se utiliza comunicación Usart tanto para la comunicación entre los microcontroladores, como para la comunicación entre el microcontrolador y la pantalla, ambas en modo asíncrono, sin bit de paridad, 8 bits de transmisión y 1 bit de parada. En la Fig. 16 se muestra el protocolo de comunicación que requiere la pantalla Nextion para entender los datos enviados por el microcontrolador.

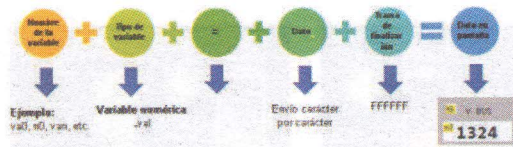


Fig.16 Diagrama para la comunicación entre la pantalla Nextion y el uC

E. HMI

La interfaz se realizó para la pantalla nextion de 2.8'' en el software Nextion, ya que permite manejar pantallas para el usuario más dinámicas.

1) Estado de las fuentes: Dentro del estado del sistema se tiene la visualización de las fuentes que se encuentren conectadas al equipo, así como de la fuente que este suministrando energía. En la Fig. 17 se observa que están conectadas las tres fuentes de alimentación: red eléctrica, batería de carro y panel solar, pero se encuentra suministrando energía solo la red eléctrica.



Fig.15 Pantalla que muestra el estado de fuentes del sistema.

2) Estado de las dos baterías: Se muestra el porcentaje y nivel gráfico como se puede observar en la Fig. 16 (a) y (b) cuando las baterías tengan un porcentaje de carga mayor al 30%, en la Figura 16(c) se muestra el nivel de la batería del 30% y cuando la batería esté totalmente descargada.

3) Alarma: Se presentan las siguientes alarmas que se presentan en forma visual: falla en alguna celda de las baterías, conexión de las baterías sin su conexión de las celdas, batería no conectada como se puede observar en los ejemplos a, b y c de la Fig. 17.

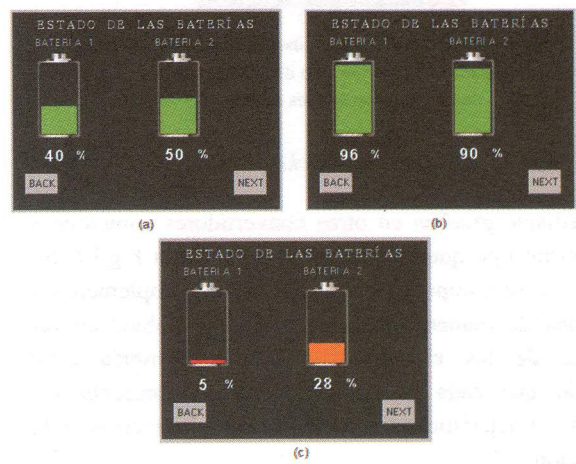


Fig. 16 Ejemplos de la interfaz en la pantalla Nextion de nivel de las baterías: (a) y (b) ejemplos de descarga de las baterías. (c) ejemplos de advertencias de las baterías

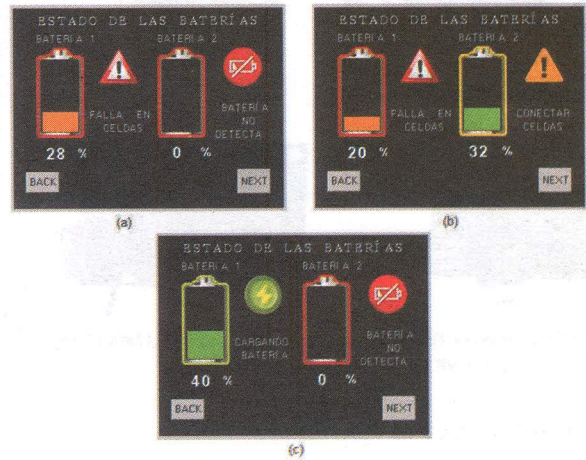


Fig. 17 Alarmas y alertas que pueden tener las baterías: (a) falla en batería 1. (b) celdas desconectadas de batería 2. (c) Carga de batería 1

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Conmutación de fuentes

Las fuentes de alimentación son seleccionadas de acuerdo a la prioridad dada a las mismas (primero red eléctrica, segundo batería de automóvil, tercero panel solar y cuarto batería 1). Como se observa en la Fig. 18.

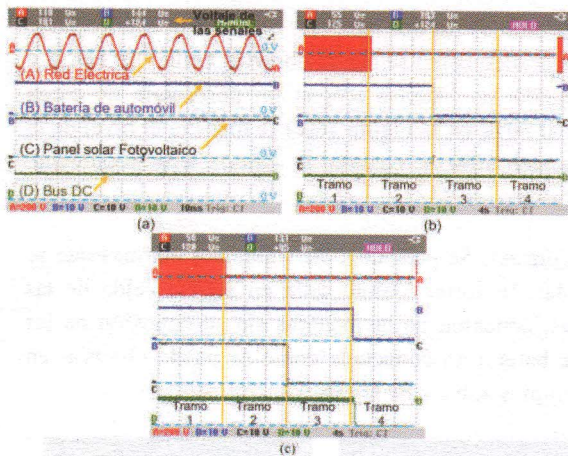


Fig. 18 Respuesta gráfica de la conmutación de fuentes: (a) todas las fuentes conectadas. (b) desconexión de fuentes con batería 1. (c) desconexión de fuentes sin batería 1

**B. Control del convertidor buck&boost**

Mediante pruebas en otros convertidores comerciales del mismo tipo que se pueden observar en la Fig.19 (b), (c) y (d), se comprobó que la electrónica implementada funciona de manera similar realizando cambios en los valores de los elementos utilizados. También cabe recalcar que cada convertidor comercial presenta sus propias características siendo la principal la frecuencia de operación.

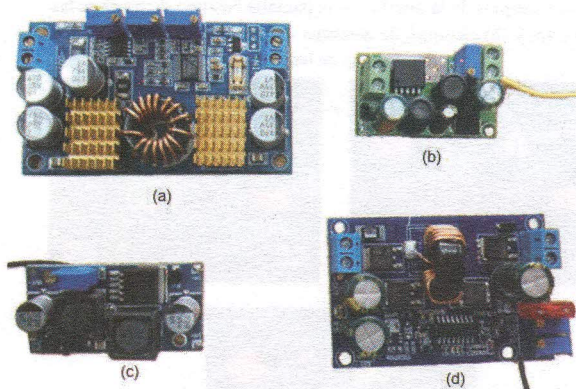


Fig. 18 Convertidores Buck&Boost comerciales: (a) LTC3780EG. (b) XL6019E. (c) XL6009E1. (d) YH11072A

**C. Control de carga de baterías lipo**

La corriente de referencia para la carga de las baterías es de 2.5A es decir 0.5C de la corriente nominal con lo cual se garantiza un valor adecuado de carga ya que debe ser menor a 1C de la corriente nominal de la batería.

En la Fig. 19 se tiene la respuesta transitoria para las constantes de  $K_p=0,099$  y  $K_i=0.122$ , donde se tiene un sobre-impulso aproximadamente del 20% con un error de  $\pm 6\%$ . El controlador se encuentra discretizado con un tiempo de muestreo de 0.01s debido a que el comportamiento de la planta es lento, la acción de salida del controlador es la que se muestra a continuación.

$$U = 0.139(e-e_1) + 0.072Te + u_1$$

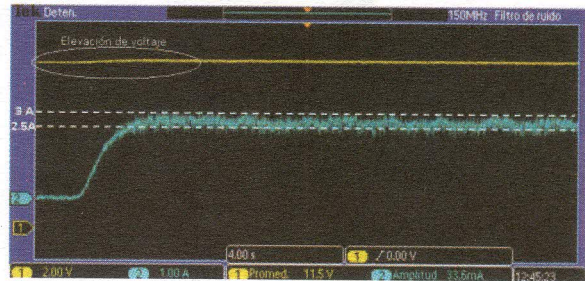


Fig. 19 Respuesta de estado estacionario de corriente con  $k_p=0.099$ ,  $k_i=0.122$

**D. Pruebas de funcionamiento HMI**

La carga de las baterías se da mediante priorización siendo la batería 2 la de mayor prioridad por delante de la batería 1. La batería 1 suministra energía al sistema cuando tenga más del 30% de carga para realizar la carga de la batería 2 como se puede observar en la Fig. 20 (a).

El proceso de carga de la batería 1 se da bajo dos condiciones, la primera cuando ha finalizado la carga de la batería 2 como se puede observar en la Fig. 20 (b) y cuando no se encuentre conectada la parte 2 del equipo lo que da una alerta de no detección de la batería 2 como se puede observar en la Fig. 20 (c).

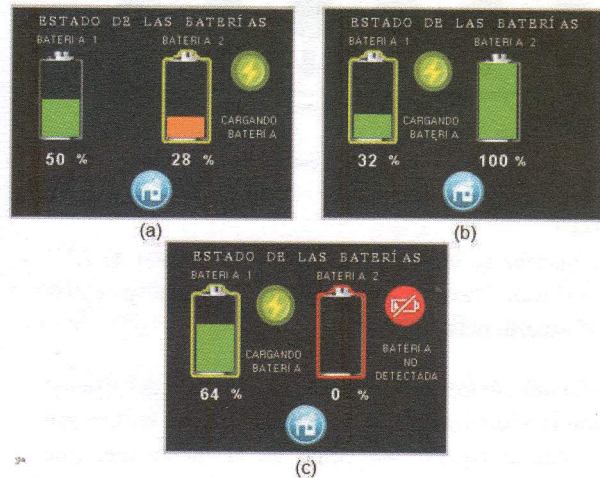


Fig. 20 Carga de las baterías 1 y 2: (a) carga de la batería 2. (b) Carga de la batería 1 después de la 2. (c) carga de la batería 1 sin la 2.

La parte 2 del equipo presenta un funcionamiento individual y para que el equipo a ser conectado como carga tenga conocimiento del estado de la batería 2 se incluye un puerto como se observa en la Fig. 21 en el cual mediante dos pines se muestra el nivel de la batería de acuerdo a la Tabla 8.

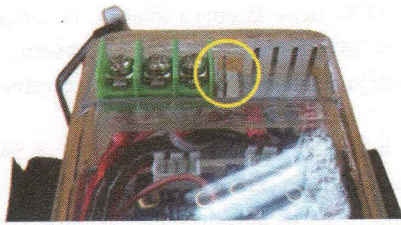


Fig. 21 Conector del puerto de información del estado de la batería 2

TABLA VIII  
NIVELES DE ENERGÍA DE LA BATERÍA 2

BIT 1 (LED VERDE)	BIT 0 (LED ROJO)	NIVEL DE LA BATERÍA (%)
0	0	del 0 al 24
0	1	del 25 al 49
1	0	del 50 al 74
1	1	del 75 al 100

Como una señal visual en esta parte del equipo se incluyen dos leds de visualización correspondientes a los bits mencionados y cuya activación se da mediante la tabla anterior y como se puede observar en la Fig. 22 (a) la combinación binaria "00", en la Fig. 22 (b) la combinación "01", en la Fig. 21 (c) la combinación "10" y en la Fig. 22 (d) la combinación "11".

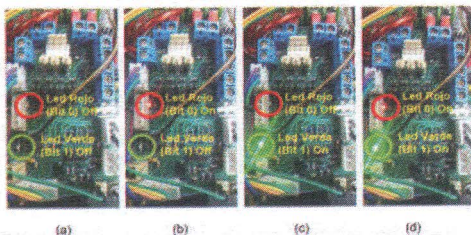


Fig. 22 Encendido de los leds informativos del nivel de la batería 2: (a) combinación 0-0. (b) combinación 0-1. (c) combinación 1-0. (d) combinación 1-1

E. Potencia suministrada por el equipo

En la Fig. 23 se muestran los elementos y equipos empleados para realizar la prueba de carga. Se puede observar las dos partes del equipo que son conectadas por un cable de comunicación/alimentación, para poder tomar las formas de onda necesarias se emplea un osciloscopio con una punta para medición de voltaje del Bus DC y una pinza de corriente.

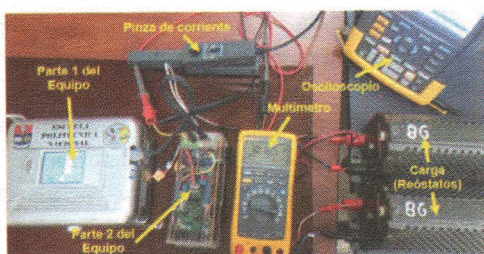


Fig. 23 Esquema de conexión para pruebas de carga.

En la Fig. 24 se puede observar en color rojo el voltaje del bus DC del equipo de valor 12.36V con una escala de 10V por división, en azul la corriente en la carga con una escala de 2A por división y en amarillo la operación de multiplicación de las dos señales anteriores que representan la potencia. Se puede observar diferentes valores de corriente siendo de valores 1.41, 3.06 y 4.40 [A] que corresponden a valores de potencia de 17.43, 37.82 y 54.38 [W] respectivamente.

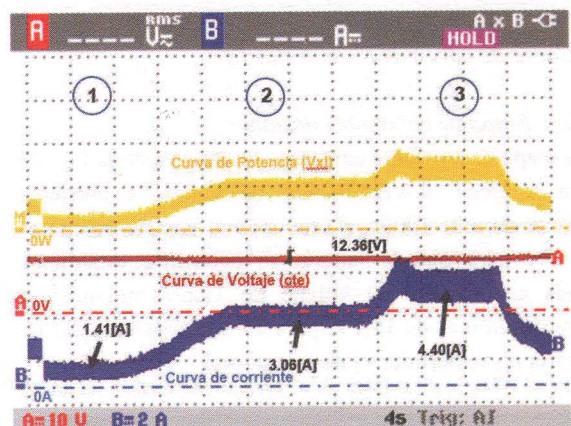


Fig. 24 Respuesta ante variación de carga



F. Estado de las baterías

En la interfaz gráfica se presenta los estados, alertas y advertencias que se dan con la conexión de las baterías como se describen en la Tabla 9.

TABLA IX  
ESTADOS, ALARMAS Y ALERTAS DE LAS BATERÍAS.

ALARMA O SEÑAL	DESCRIPCIÓN
<p>BATERIA 1 BATERIA 2 BATERIA 3 30 % 26 % 5 %</p>	Estados de las baterías 1 y 2, se presentan cuando las baterías se están descargando. En verde cuando el nivel supera el 30%, en naranja cuando es inferior al 30% y en rojo cuando estén totalmente descargadas.
<p>26 %</p>	Señal informativa que indica que una de las baterías se encuentra cargando.
<p>58 %</p>	Señal de Advertencia de no detección de las celdas de la batería. El sistema no realiza la carga de la batería solo descarga.



	<p>Señal de alarma de que se ha producido un daño en una o más celdas. El equipo utilizará a la batería si no se encuentran conectadas las fuentes de alimentación hasta llegar al límite inferior de voltaje.</p>
	<p>Señal informativa de no detección de batería, el equipo no realiza acción alguna sobre esta.</p>

G. Curva de carga de las baterías lipo

1) Etapa de corriente constante

La etapa de corriente constante se observa en la Fig. 25 donde se tiene el crecimiento de voltaje a corriente constante durante 1000s, el crecimiento en este tiempo es de 0.2V, para que la batería se encuentre totalmente cargada se requiere un voltaje de 12.6V, mientras el voltaje mínimo es de 11.1V, para aumentar la vida útil de la batería no se permite su descarga total.

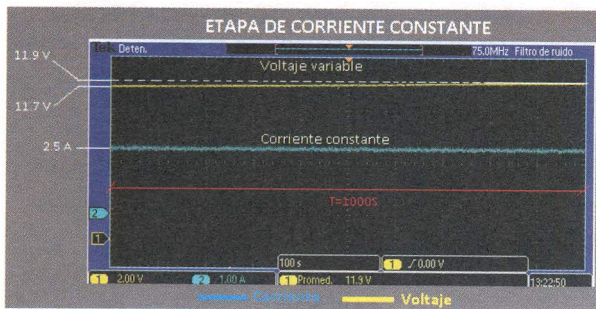


Fig. 25 Etapa corriente constante - voltaje variable

2) Etapa de voltaje constante

En la Fig. 26 se observa el comienzo de la etapa de saturación cuando se está cargando la batería, en los primeros 700 segundos se observa un descenso de corriente de 0.5 A, mientras el voltaje permanece constante en 12.6 V.

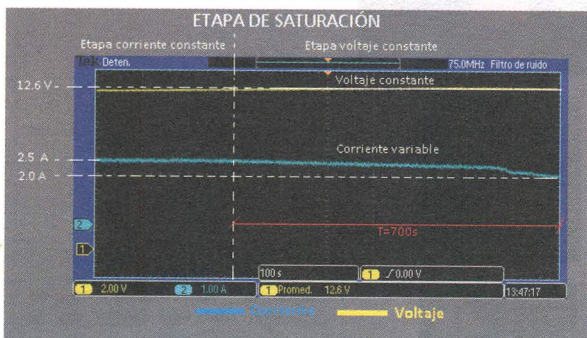


Fig. 26 Etapa de saturación: Corriente variable-voltaje constante

En la Fig. 27 se tiene la curva total de la carga de la batería desde el 28% hasta el 97.33%, se observa que la gráfica se asemeja a la curva de carga que recomienda el fabricante.

Tenemos una corriente constante de 2.5A que representa una tasa de carga de 0.5C, en la etapa de saturación la corriente desciende a un 6% de la corriente nominal de la batería de 5000mA. La carga completa de la carga se realiza en un tiempo aproximado de una hora, este tiempo puede variar dependiendo del estado de la batería, es decir mientras la batería se encuentre en mejores condiciones el tiempo de carga será mayor.

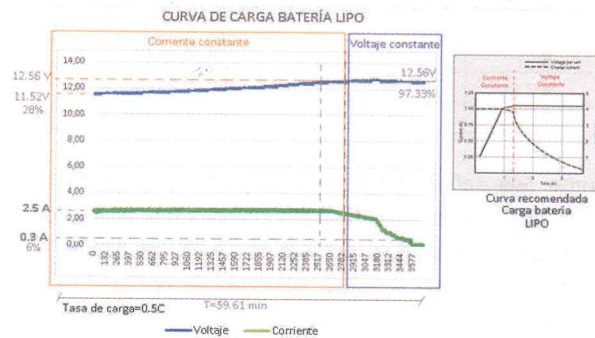


Fig. 27 Curva total de carga de la batería LIPO

IV. CONCLUSIONES

- El trabajo de titulación que se ha desarrollado cumple con los objetivos planteados, es decir el sistema de administración de energía diseñado a base de convertidores comerciales Buck & Boost suplir los requerimientos energéticos de los equipos del laboratorio de UAVs y Aplicaciones Ópticas del Departamento de Automatización y Control Industrial-DACI de la Escuela Politécnica Nacional-EPN.
- El equipo desarrollado consta de 3 fuentes de energía: red eléctrica, panel fotovoltaico y la batería de un automóvil, lo cual le permite funcionar en diferentes campos aprovechando existente. El equipo además puede trabajar con otras fuentes de energía que tengan características similares a las del panel fotovoltaico o la batería de automóvil, siempre cuando y cuando no se exceda los límites de alimentación especificados del sistema.
- El algoritmo para la conmutación de fuentes permite al equipo garantizar continuidad en el suministro de energía, además de aprovechar la energía de la fuente que se encuentre alimentando al sistema. Ya que se considera como fuente de alimentación a un panel solar y la energía que puede generar es variable se toma en

consideración que la batería 1 puede trabajar a la par compensando la necesidad energética.

- El sistema implementado posee dos partes que constan de baterías independientes. Se ha priorizado la carga de la batería 2 ya que la misma está destinada a brindar energía a los equipos desarrollados en el laboratorio, siendo una característica de estos el ser móviles. Se ha tomado en cuenta que ninguna de las dos baterías puede descender del 10% de su carga total para evitar que se gasifiquen.
- Mediante las pruebas realizadas se ha observado que el controlador tipo PI satisface los requerimientos de control del sistema para la carga de las baterías lipo. Con el controlador implementado se ha obtenido la curva de carga de la batería de gran similitud a la recomendada por los fabricantes, aportando así a mantener el tiempo de vida útil dado por el fabricante y no sacrificar las baterías como normalmente lo hacen los cargadores comerciales.
- El algoritmo de balanceo de celdas mejora el desempeño de las baterías con lo que se evita daños por exceso de carga en cualquiera de las celdas.
- La interfaz que se ha desarrollado en la pantalla Nextion permite que el usuario conozca el estado de las baterías, así como el de las fuentes. En las pantallas que se han implementado se puede observar las fuentes que se encuentren conectadas y cuál de ellas se encuentra suministrando energía al sistema. También se puede observar las avisos y alarmas generadas por el sistema para que el operador pueda tomar las medidas necesarias.
- Se ha logrado reducir el tamaño del equipo mediante el uso de convertidores comerciales. Además, estos nos han permitido obtener mayor potencia en menor espacio. También se ha utilizado el elemento de potencia mosfet como interruptor con el fin de evitar el uso de relés mecánicos, entre otros dispositivos que ocupan mayor espacio y menor tiempo de vida útil respecto a dispositivos de estado sólido.
- Debido a que los convertidores comerciales Buck&Boost utilizados requieren de un control manual se ha implementado la electrónica adicional necesaria para automatizar el control de los convertidores comerciales Buck&Boost, esto se lo realiza a través de un microcontrolador.

## REFERENCIAS

- [1] C. J. CRUZ ARDILA, "Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa," *Entramado*, vol. 9, no. 2, pp. 234-248, 2013.
- [2] N. Mohan et al., *Electrónica de potencia: Convertidores, aplicaciones y diseño*. México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009.
- [3] J. Calderón, "Administración de energía en aplicaciones embedded," May-2007.
- [4] D. H. Krell, "Administración de la energía," *Emprendedores News*, España, Enero-2017.
- [5] Ciudades del Futuro, "7 tipos de almacenamiento de energía que deberías conocer - Ciudades del Futuro," *Ciudades del futuro | El Blog de Siemens España*, 26-Oct-2016.
- [6] O. E. Doñán Velasco and S. J. Sermeño Mena, "Diseño de una pila de combustible de hidrógeno para producir una diferencia de potencial de 12 voltios," *Científico*, Universidad Don Bosco, El Salvador, 2008.
- [7] Battery University, "Lithium-based Batteries Information – Battery University," 2018. [Online]. Available: [http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries). [Accessed: 11-Jul-2018].
- [8] T. Reddy and D. Linden, *Linden's Handbook of Batteries (4th Edition)*. New York, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2010.
- [9] M. Naylamp, "Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 5A LM2596," *Naylamp Mechatronics - Perú*. [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html?search\\_query=step+down+&results=9](https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html?search_query=step+down+&results=9). [Accessed: 05-Nov-2018].
- [10] Electronilab, "Módulo LM2596 Convertidor de Voltaje DC-DC Buck 1.25V-35V," *Electronilab*.
- [11] Naylamp, "Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up 2.5A XL6009 - Naylamp Mechatronics - Perú," *Naylamp Mechatronics*. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/125-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2p5a-xl6009.html>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [12] Hyelesiontek, "DC DC Convertidor módulo XL6009 4A DC Variateur Boost Convertidor módulo USB ajustable regulador de voltaje de la fuente de alimentación en Circuitos integrados de Componentes y sistemas electrónicos en AliExpress.com | Alibaba Group," *Aliexpress*. [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/XL6009-DC-DC-Adjustable-Step-up-Boost-Power-Converter-Module-XL6009-Replace-LM2577/32444618409.html>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [13] M. Naylamp, "Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up-Down 7A LTC3780," *Naylamp Mechatronics - Perú*. [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/408-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-down-7a-ltc3780.html?search\\_query=ltc3780&results=1](https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/408-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-down-7a-ltc3780.html?search_query=ltc3780&results=1). [Accessed: 05-Nov-2018].
- [14] Aliexpress, "LTC3780 Buck Boost automático Módulo de corriente constante en Inversores y Convertidores de Mejoras para el hogar en AliExpress.com | Alibaba Group," *aliexpress.com*. [Online]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/LTC3780-Automatic-Buck-Boost-Constant-Current-Power-Module/32590066193.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&af\\_f\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/LTC3780-Automatic-Buck-Boost-Constant-Current-Power-Module/32590066193.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&af_f_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=). [Accessed: 05-Nov-2018].
- [15] Ebay, "100W AC-DC Converter 110V 220V to 12V DC 8A Power Supply Switching Transformer 699941127558 | eBay." [Online]. Available: [https://www.ebay.com/itm/100W-AC-DC-Converter-110V-220V-to-12V-DC-8A-Power-Supply-Switching-Transformer-/252224159534?\\_ul=EC](https://www.ebay.com/itm/100W-AC-DC-Converter-110V-220V-to-12V-DC-8A-Power-Supply-Switching-Transformer-/252224159534?_ul=EC). [Accessed: 05-Nov-2018].

## Biografías



**Katherine Lizbeth Quinatoa Llano**, nació en Latacunga – Ecuador de padres latacungueños, sus estudios secundarios fueron realizados en el Colegio Experimental “Simón Bolívar”. Realizó sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica Nacional en Ingeniería en Electrónica y Control.

Áreas de interés: sistemas microprocesados, instrumentación

industrial, robótica, control industrial.  
(katherine.quinatoa@epn.edu.ec).

### Paguay Cristian: Biografía



**Marcelo Pozo**, nació en Quito-Ecuador. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Gracias a una beca del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), estudió su Masterado en la Universidad Técnica de Dresden-Alemania obteniendo el título de Master en Ingeniería Eléctrica (M.Sc.E.E) en

Septiembre del 2002. Entre el 2003 y 2009 se dedicó al trabajo en la industria. A partir de Septiembre del 2009 se desempeña en el cargo de Profesor Principal a tiempo completo en el Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI) de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional-Quito, Ecuador. Entre finales del 2010 y principios del 2015 realizó su proyecto de Doctorado en Ingeniería en la Universidad de Siegen-Alemania, especializándose en Electrónica de Potencia y Control Electrónico de Máquinas Eléctricas. Actualmente es Jefe del Laboratorio de Electrónica de Potencia, Control de Máquinas y Smart Grids en el DACI de la Escuela Politécnica Nacional. Además, es presidente 2019 del Joint Chapter Industrial Electronics-IES & Control Systems-CSS del IEEE-Ecuador.

Sus áreas de interés son: Electrónica de Potencia, Control Electrónico Industrial, Control Electrónico de Máquinas Eléctricas, Calidad y Uso Eficiente de la Energía, Control y Conversión Estática a partir de Fuentes de Energía Alternativas, Regenerativas y Renovables, Redes Eléctricas Inteligentes-Smart Grids, Sistemas de Transporte y Movilidad Eléctricos.  
(marcelo.pozo@epn.edu.ec)



Doctor en Física de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-EPN), ingeniero en la Escuela Politécnica Nacional. Coordinador de la Red Fotónica Brasil – Ecuador. Premio EPN a la Mejor Investigación. Premio mejor profesor EPN. Decano Facultad de Ciencias. Coordinador de la COMIEC Jefe

Departamento de Física. Director de Investigación EPN. Director de Investigación REDU. Director del proyecto UAVs EPN-FAE. Director del proyecto Aplicaciones ópticas (Fluorímetro) EPN –IEE, entre otros Proyectos Treintena de artículos publicados. Profesor Invitado: Universidad de Sao Paulo, Universidad Federal de Sao Carlos Universidad Católica Rio de Janeiro Universidad federal de Rio de Janeiro entre otras.