



**BUAP**

# **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“Regulador de carga mediante convertidores CA-  
CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de  
GEEMTA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

PRESENTA:

**MANUEL ALEJANDRO MORALES GÓMEZ**

ASESOR:

Dr. FILIBERTO CANDIA GARCÍA

COASESOR:

Dr. ROBERTO CARLOS AMBROSIO LÁZARO

PUEBLA, PUE.

Febrero 2020

## Agradecimientos

Al Dr. Filiberto Candia, por la oportunidad y apoyo para la culminación de este trabajo y promover una mejora de mi vida profesional para continuar avanzando en el cumplimiento de las metas establecidas.

Al personal docente del colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica que me apoyó para llegar a esta etapa, guiándome, corrigiendo y encausando cada una de las dudas que se me presentaron hacia una solución práctica e inmejorable.

## Dedicatoria

A mis padres, por haber confiado en mí incondicionalmente en cada una de las decisiones tomadas a lo largo de mi vida, siendo el pilar más fuerte sobre el que puedo apoyarme.

A mis hermanos, por cuidar de mí y guiarme hacia un camino más fácil que el que les tocó transitar.

A mi esposa, mi todo, mi confidente, por dejarme en claro que siempre estarás presente cualquier situación para sacarme a flote.

A las personas que mostraron el interés para que consiguiera llegar a la meta y concluir la etapa pendiente de mi vida.

## Contenido

Resumen.....	4
Introducción .....	5
Capítulo I.- Generales .....	8
Antecedentes .....	9
Justificación.....	9
Metas .....	10
Problemática.....	12
Objetivo general.....	13
Hipótesis.....	13
Estado del arte .....	13
Capítulo II.- Marco teórico.....	17
Fuentes controladas de CA-CC .....	18
Cargadores de baterías .....	20
Fuentes conmutadas .....	21
Inversores CC-CA.....	36
Estrategia de control.....	39
Capítulo III.- Marco Metodológico.....	42
Capítulo IV.- Desarrollo.....	45
Descripción del dispositivo regulador.....	50
Capítulo V.- Resultados .....	52
Toma de datos de la medición virtual y captura de datos en la tabla comparativa .....	66
Operación controlada del dispositivo en los tres escenarios propuestos .....	68
Toma de mediciones y captura de datos en la tabla comparativa.....	71
Comparativa de datos .....	75
Capítulo VI. - Discusión y conclusiones.....	79
Análisis y discusión del comportamiento del regulador .....	80
Recomendaciones y ajustes de la integración .....	81
Consideraciones sobre la configuración propuesta .....	82
Conclusiones .....	85
Bibliografía .....	86
Anexo I. – Cotización .....	89

## Resumen

Ubicados en el área de ingeniería y específicamente en el sector de generación y distribución de energía eléctrica, los **antecedentes** que orillan la realización del presente proyecto pretenden apoyar los Objetivos para el Desarrollo Sostenible en particular el objetivo 7, “Energía asequible y no contaminante” que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Por lo tanto, el **propósito** es proponer una alternativa de alta tecnología mediante convertidores CA-CC, CC-CC y CC-CA, para optimizar el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por los sistemas de GEEMTA. La **metodología** es exploratoria-experimental, con base en el método científico-deductivo, los resultados se obtienen en dos fases: por simulación mediante Simulink y por medición directa en un prototipo funcional, los datos se comparan durante el comportamiento de tres escenarios: a media carga, a carga completa, sobrecarga del 25%. El **desarrollo** reutiliza e incorpora el concepto de Sistema de Generación de Energía Eléctrica Mediante Tecnologías Alternativas (GEEMTA). El procedimiento consiste en la manipulación de prototipos didácticos comerciales de bajo costo, los cuales se organizan e integran de acuerdo con la demanda de abasto de energía eléctrica de una familia que vive en condiciones de pobreza y en zonas urbanas marginadas sin servicios públicos. En los **resultados** las simulaciones muestran comportamientos aceptables y funcionales de carga-descarga de los bancos de baterías. Las **conclusiones** adelantan una pronta adopción del prototipo pues se cuenta con un prototipo físico que permite regular la carga mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA.

## Introducción

El actual proyecto se inscribe en el área del conocimiento de la Ingeniería de acuerdo con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y su forma de clasificar la generación del conocimiento. El área del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) en la cual se ubica es:

- ✚ Sector: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final.
- ✚ Subsector: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
- ✚ Rama: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
- ✚ Subrama: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
- ✚ Clase: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Los antecedentes que orillan la realización del presente proyecto son apoyar la agenda del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (ONU, 2018), en específico del Objetivo 7 para el Desarrollo Sostenible (ODS).

El objetivo 7: energía asequible y no contaminante, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, de acuerdo a la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, para ello es necesario investigar e invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal. Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente (ONU, 2018).

Para afrontar el análisis, el diseño y la verificación de los complejos sistemas de suministro eléctrico que hoy en día son requeridos por distintos sectores de la industria, se requiere del uso de herramientas de simulación que permitan evaluar los diseños y optimización energética antes de ser implementados. Esta ventaja proporciona al diseñador un conocimiento previo del comportamiento global del sistema y le permite comparar distintas alternativas y estrategias de distribución, redundancia, tolerancia a fallos, etc. Con ello se consigue a su vez reducir el tiempo de desarrollo e incrementar la posibilidad de éxito “a la primera”, dado que es posible anticipar errores de diseño y corregirlos en las primeras fases del proyecto.

Sin embargo, el principal problema para simular los sistemas de alimentación distribuida es la falta de modelos de sus componentes (baterías, protecciones, filtros, convertidores de CC-CC y AC-CC, inversores, distintos tipos de cargas, etc.). El presente trabajo de investigación se ha centrado en el desarrollo de modelos comportamentales para los convertidores de energía, desde el estudio de prototipos didácticos comerciales.

La característica principal de estos modelos es que están basados en los datos que los fabricantes proporcionan en sus catálogos, aspecto que posibilita obtener modelos simulables para algunos de los convertidores CC-CC comerciales. Esto supone una gran ventaja respecto de otras técnicas de modelado, sobre todo las analíticas, que están basadas en el conocimiento de la topología del convertidor, de su estrategia de control y de los valores de sus componentes, dado que los fabricantes no aportan dicha información que es parte de su propiedad intelectual.

Se reutiliza e incorpora el concepto de Sistema de Generación de Energía Eléctrica Mediante Tecnologías Alternativas (GEEMTA) (Candia & Galindo, La contaminación por silicio una proyección negativa del uso de tecnologías alternativas, 2012). la perspectiva de minimizar el riesgo de la salud pública (Candia, Carmona, & Landa, La salud pública un indicador para validar la viabilidad de las tecnologías alternativas, 2014) y la ecología a fin de ofrecer ventajas competitivas en el presente y no problemáticas a futuro.

La metodología es exploratoria-experimental, con base en el método científico-deductivo, los resultados se obtienen por medición directa y se comparan contra el comportamiento de tres escenarios: a media carga, a carga completa, sobrecarga del 25%.

El desarrollo consiste en la manipulación de prototipos didácticos comerciales de bajo costo, los cuales se organizan e integran de acuerdo con la demanda de abasto de energía eléctrica de una familia que vive en condiciones de pobreza y en zonas urbanas marginadas sin servicios públicos. Los prototipos didácticos comerciales son de referencia tecnológica de la electrónica de potencia en específicos convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA.

Los resultados han sido satisfactorios y motivantes, las mediciones muestran comportamientos aceptables y funcionales de carga-descarga de los bancos de baterías. Se

complementa la actual propuesta de integración con recomendaciones para el manejo adecuado del suministro de la energía eléctrica.

Las conclusiones adelantan una pronta adopción del prototipo pues el objetivo principal ha sido alcanzado y se cuenta con un prototipo físico que permite regular la carga (demanda de consumo eléctrico) mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA, proporcionando el derecho al acceso universal a electricidad asequible, para los habitantes de las zonas urbanas marginadas sin servicios públicos.

# Capítulo I.- Generales

## Antecedentes

Para afrontar el análisis, el diseño y la verificación de los complejos sistemas de alimentación que hoy en día son requeridos por distintos sectores de la industria es necesario recurrir a herramientas de simulación que permitan evaluar los diseños antes de ser implementados. Esto proporciona al diseñador un conocimiento previo del comportamiento global del sistema y le permite comparar distintas alternativas y estrategias de distribución, redundancia, tolerancia a fallos, etc. Con ello se consigue a su vez reducir el tiempo de desarrollo e incrementar la posibilidad de éxito “a la primera”, dado que es posible anticipar errores de diseño y corregirlos en las primeras fases del proyecto. Sin embargo, el principal problema para poder simular los sistemas de alimentación distribuida es la falta de modelos de sus componentes (baterías, protecciones, filtros, convertidores de CC-CC y AC-CC, inversores, distintos tipos de cargas, etc.). El presente trabajo de tesis se ha centrado en el desarrollo de modelos comportamentales para los convertidores CC-CC. La característica principal de estos modelos es que están basados en los datos que los fabricantes proporcionan en sus catálogos, o en medidas similares, lo que posibilita obtener modelos simulables de todos los convertidores CC-CC comerciales. Esto supone una gran ventaja respecto de otras técnicas de modelado que están basadas en el conocimiento de la topología del convertidor, de su estrategia de control y de los valores de sus componentes, dado que los fabricantes no aportan dicha información ya que es parte de su propiedad intelectual. Se ha propuesto una nueva estructura para modelar los convertidores CC-CC con capacidad de puesta en paralelo. Además, se ha propuesto modelar distintas estrategias de reparto de corriente como: maestro dedicado, maestro automático y programación promediada (OLIVER, 2007).

## Justificación

En el mundo hay actualmente cerca de 1400 millones de personas que carecen de suministro eléctrico regular, y en el contexto adecuado la eólica de baja potencia y otras energías renovables pueden proporcionar una solución viable a este problema, permitiendo a comunidades remotas utilizar sus propios recursos naturales y librarse de la trampa de la pobreza. La red WindEmpowerment (WE, 2016) es una plataforma de conocimiento compartido que enlaza las experiencias de los participantes sobre qué funciona y qué no en los contextos en los cuales trabajan, y permite cooperar para hacer más viable esta solución de electrificación rural.

La parte mecánica y eléctrica de estos generadores de energía renovable es bien conocida para los miembros de la red, pero la mayoría aún depende de diseños propietarios y muchas veces costosos en lo que se refiere a convertidores electrónicos de potencia. Estos equipos requeridos necesitan un largo proceso de diseño y ensayos complejos, por lo cual las empresas del rubro buscan cubrir sus costos y obtener lógicamente una ganancia. En muchos casos no existe capacidad productiva de este tipo de equipos en los países donde se realiza la instalación. A su costo inicial en el país de origen, hay que agregar los costos aduaneros y de transporte que muchas veces superan el valor original del producto en algunos países. Esto constituye una barrera importante para la implementación masiva de estas alternativas para países o regiones con escaso desarrollo eléctrico.

## Metas

Para incrementar la potencia de salida, se evaluará la conexión en paralelo de varios boost converter. La documentación revisada no es alentadora en este aspecto, sin embargo, la práctica realizada permitirá que la probabilidad de incrementar cargas de potencias superiores a 10 amperes y menores a 20 amperes puedan ser conectadas y alimentadas por los bancos de baterías cuando sea requerida una demanda extraordinaria.

La alternativa de formar microredes entre los pobladores de las zonas marginadas permitirá que a través de una legislación local puedan incorporar un ingreso para favorecer su economía. Para ello será necesario un centro de gestión de flujos que permita la adecuada organización, control y distribución de la energía.

Entre los puntos a legislar se encontrarán las capacidades máximas instaladas y las demandas máximas, que serán limitadas a la supervivencia y convivencia decentes y dignas. Las oportunidades comerciales no serán atendidas en las viviendas para mantener una regularidad y consistencia del diseño autosustentable.

Se busca cubrir, a través de la implementación colaborativa, la falta de una alternativa de diseño abierta y pública que permita a grupos o individuos con algún conocimiento técnico implementar sus propias soluciones, sea para ONG's que buscan hacer llegar una solución energética en sitios aislados, o para quienes quieren obtener un servicio eléctrico económico a partir de fuentes renovables. A través de una tecnología open-source se permite a actores locales construir su propia cadena de conversión eléctrica, y también a fabricantes que al

adherir al concepto modular y estándar, para proveer alternativas compatibles con esta iniciativa (Alinei, y otros, 2016).

En primera instancia un producto adaptado a todas las plantas de energía renovable de baja potencia resulta complejo, pero el enfoque modular permite sobre una base común combinar distintos módulos de acuerdo con las particularidades de la región y el sistema a alimentar. Los pasos iniciales de concepción del Sistema requerido entre los integrantes involucrados, es decir resume en un sistema ficticio una “lista de demandas” de los integrantes consultados en cuanto a convertidores electrónicos indicando su potencia y sus niveles de tensión. Por tratarse de un sistema aislado con almacenamiento, el núcleo de este es el banco de baterías, dando la opción en algún caso de combinar bancos de baterías de distintos niveles de tensión a través de un convertidor CC/CC. En este y otros casos, los módulos requeridos son en su mayoría convertidores electrónicos conmutados de alta eficiencia entre dos niveles de corriente continua (marcados DC/DC) o de alterna (DC/AC o AC/AC). Los niveles de tensión y corriente (y por tanto de potencia) varían significativamente con la aplicación. El objetivo es implementar los módulos, lograr que se inserten en una plataforma estandarizada y cuenten con un módulo central común configurable (interfaz con el usuario). El módulo central será la inteligencia que comunique los módulos estándar (cada uno con su propio controlador de bajo costo) y permita configurar su operación. A través de esto es posible asegurar que una determinada combinación de módulos sirva cada aplicación de micro generación requerida.

Por lo tanto, el producto final debería tener las siguientes características:

- ✓ Altamente versátil, para adaptarse a distintas fuentes renovables de energía.
- ✓ Costo-eficiente:
  - Módulos genéricos fabricados en serie.
  - Se paga por el producto, no por la marca ya que es código y hardware abierto.
  - Compatible con módulos de autoconstrucción (evita costos aduaneros)
- ✓ Mantenimiento menos oneroso: En caso de fallas, se reemplaza un módulo y no todo el sistema.

Es un vehículo de conocimiento e innovación:

- ✓ Al ser diseñado para autoconstrucción, la soldadura y armado es sencillo.
- ✓ El software es de fácil modificación, por lo cual los usuarios o grupos pueden implementar mejoras u optimizaciones (Alinei, y otros, 2016).

## Problemática

En la revisión del ODS 7: energía asequible y no contaminante y del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, se menciona que más de la mitad de la población mundial vive hoy en zonas urbanas. Asimismo, que no es posible lograr un desarrollo sostenible sin transformar radicalmente la forma en que construimos y administramos los espacios urbanos. Que el rápido crecimiento de las urbes en el mundo en desarrollo, en conjunto con el aumento de la migración del campo a la ciudad, ha provocado un incremento explosivo de las mega urbes. Como la extrema pobreza suele concentrarse en los espacios urbanos y los gobiernos nacionales y municipales luchan por absorber el aumento demográfico en estas áreas. Mejorar la seguridad y la sostenibilidad de las ciudades implica garantizar el acceso a viviendas seguras y asequibles y el mejoramiento de los asentamientos marginales (ONU, 2018).

Siendo entonces la revisión de los ODS 7 y 11 la razón que detonó las siguientes preguntas de investigación:

1. **Mediante el estudio de los convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA, ¿es posible proponer una alternativa de alta tecnología para el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por los sistemas de GEEMTA?**
2. ¿Vivir en una zona urbana marginada, limita el acceso al uso de la energía eléctrica?
3. Los prototipos didácticos comerciales conversores de energía eléctrica de tipo CA-CC, CC-CC y CC-CA, ¿son dispositivos viables para ofrecer soluciones tecnológicas de vanguardia?
4. ¿Las alternativas tecnológicas de generación de energía eléctrica, requieren de un cambio cultural de convivencia familiar?

Por lo tanto, la problemática se establece como: la falta del servicio público de energía eléctrica en las zonas urbanas marginadas de la ciudad de Puebla favorece que los habitantes de estas zonas vivan en condiciones de alta marginación social.

## Objetivo general

- ✚ **Proponer una alternativa de alta tecnología mediante conversores CA-CC, CC-CC y CC-CA, para optimizar el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por los sistemas de GEEMTA.**

## Objetivos específicos

- ✚ Proporcionar acceso a la energía eléctrica en zonas urbanas marginadas sin servicios públicos.
- ✚ Integrar un dispositivo distribuidor-regulador de energía eléctrica mediante prototipos didácticos comerciales de convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA.

Es importante mencionar, que el presente trabajo está centrado en integrar tecnologías didácticas comerciales sobre todo las referidas a los convertidores CC-CC unidireccionales y no en el estudio de los temas de control de las topologías. Por lo tanto, como trabajo posterior será de alto interés el estudio de los convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA desde el punto de vista del control, pues la tendencia es complementar el trabajo desarrollado con el estudio de métodos avanzados de control (Flores, 2004).

## Hipótesis

Si se estudian los prototipos didácticos comerciales de convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA y se integra un dispositivo distribuidor-regulador de energía eléctrica de alta tecnología **para el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por los sistemas de GEEMTA**, entonces, es posible inducir un cambio cultural de convivencia familiar, que brinde acceso a la energía eléctrica en zonas urbanas marginadas sin servicios públicos.

## Estado del arte

Para el desarrollo del estado del arte se ha considerado como referente indispensable el requerimiento del ODS 7, que solicita investigar e invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal. Así como expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo (ONU, 2018). Para enmarcar los avances que favorecen el alcance del ODS 7, se ha configurado un estado del arte que tiene como ámbito el Político-Social-Sustentable (Figura 1.1), con las categorías de concepto,

propuestas de uso y aplicación (sin ejecución), casos prácticos (ejecutados) y desarrollos tecnológicos (reguladores de carga) en la temática de las microredes.

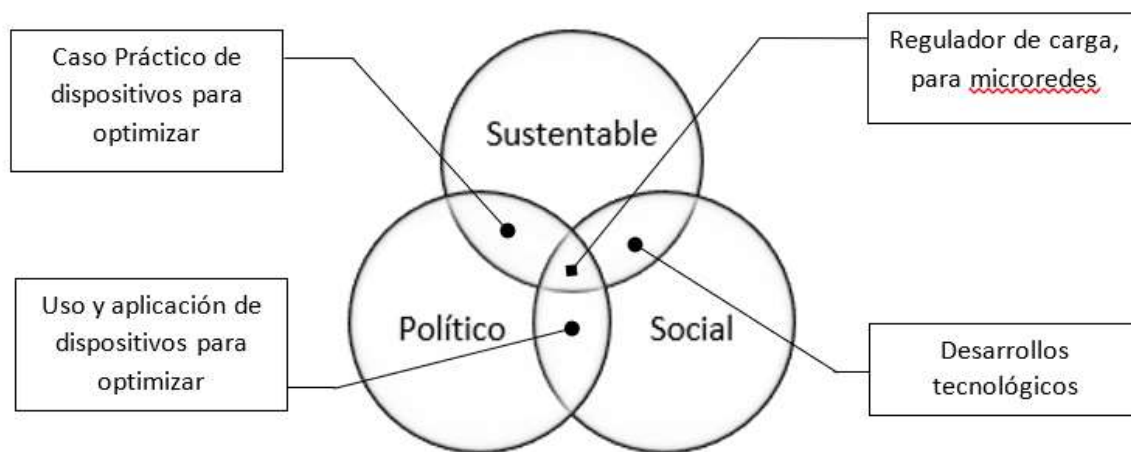


Figura 1.1.- Definición de ámbitos y categorías de análisis.

Actualmente la red inteligente o “Smart Grid” es de las últimas tendencias hacia las que tiende el sector eléctrico y cuya implantación se está estudiando a nivel global. Al tratarse de sistemas donde la generación y el consumo son conocidos y fácilmente predecibles, los beneficios incluirían un consumo fiable y la optimización de la generación interna, de forma que el sistema sea capaz de funcionar prácticamente en isla, pasando el suministro eléctrico general a un suministro de reserva. Siendo interesante el planteamiento de introducir una microred de forma progresiva (Barrales, 2016).

Encontrando que al definir una microred diversos autores coinciden con solo algunas variantes en la siguiente propuesta: una microred es un sistema de baja tensión que comprende sistemas de distribución con recursos de energía distribuidos (microturbinas, pilas de combustible, paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, etc.) junto con dispositivos de almacenamiento (volantes de inercia, ultracapacitores y baterías) y cargas flexibles. Dichos sistemas pueden operar de forma no autónoma (si están interconectados a la red) o de forma autónoma (si están aislados de la red) (Moreno, 2017), (Chinchuña, 2018), (Barrales, 2016).

Dentro de este estudio se encontró que existe una gran tendencia hacia el uso de modelos analíticos en Simulink<sup>1</sup> y Homer Energy<sup>2</sup>, dos softwares robustos que cuentan con módulos especializados en el análisis de optimización de sistemas híbridos de GEEMTA. Con el limitante de que el modelado experimental se encuentra reducido al sector académico, con el reporte de pocos casos prácticos.

En los estudios analizados sobre la optimización de las microredes, los principales propósitos han sido: la implementación de unidades de micro generación para satisfacer el incremento de necesidades de energía eléctrica (Chinchuña, 2018). La realización de la modelación de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red y los aislados (Salazar & Carrión, 2015). Aplicación de las microredes como alternativas para el abastecimiento energético de establecimientos aislados de la red eléctrica, mediante sistemas híbridos, con respaldo de equipos generadores de energía eléctrica tradicionales (Thibaud, Roberts, & Prado, 2015). La implementación de interfaces que permitan su conexión a la red eléctrica, así como alimentar cargas de manera directa. Evaluación de la tendencia en el estudio hacia la flexibilidad y autonomía con la que operan las microredes. (Ortega, Carranza, Sosa, García, & Hernández, 2016).

Para esta investigación el objetivo se empata con los propósitos arriba mencionados y sobre todo con la intención de optimizar la implementación de microredes en lugares ya existentes o a ser construidos (casa habitación para zona urbana marginada sin servicios), usando patrones de consumo y comportamiento de variables ambientales al dimensionar el equipamiento y evaluar las técnicas de gestión de voltaje y de potencia (Mírez, Hernández-Callejo, Horn, & Bonilla, 2017).

Los principales resultados y hallazgos reportados han sido: que el sistema fotovoltaico interconectado tiene menores pérdidas eléctricas y mejor factor de planta (Salazar & Carrión, 2015) y proporcionan una adecuada reducción de costos de transmisión y distribución eléctrica con mejoramiento en la calidad de potencia para los sistemas (Chinchuña, 2018). También que es una pertinente estrategia para aprovechar la corriente directa que se genera

---

<sup>1</sup> <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>

<sup>2</sup> <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>

desde el panel fotovoltaico para alimentar las cargas en CC (Cruz-Ardila, Cardona-Gómez, & Hernández-Porras, 2013), porque se minimizan las pérdidas por efecto Joule en la conversión de CC a CA (Salazar & Carrión, 2015). Que una microred configurada con almacenamiento eléctrico (por ejemplo: baterías) es mucho más interesante que un caso de estudio en el que no se usa porque, además de la funcionalidad principal (suministrar energía eléctrica a casas habitación en zonas urbanas marginadas sin servicios), puede utilizarse para otros fines interesantes como la interconexión entre casas habitación, para la venta entre usuarios locales (Moreno, 2017).

La propuesta de esta investigación es el desarrollo de un regulador de carga mediante convertidores controlados (CA-CC) y conmutados (CC-CC). Así como limitar la conversión CC-CA, ya que el diseño de un sistema de transferencia electrónica que facilita el uso de la energía eléctrica CC proveniente del panel solar, suprimiendo la utilización del inversor de voltaje, se considera una alternativa viable para reducir el costo de utilización de la energía solar (Cruz-Ardila, Cardona-Gómez, & Hernández-Porras, 2013). En la propuesta se incluyen diversas configuraciones de bancos de baterías, puesto que todo sistema híbrido se debe incorporar baterías para almacenamiento de la energía (Thibaud, Roberts, & Prado, 2015) y en este desarrollo se plantea un manejo de voltajes de CC mediante bancos de baterías, lo más próximo a la demanda solicitada (5 VCC, 19-24 VCC, 48 VCC). Se ha considerado incorporar una topología activa de carga de los bancos de baterías en paralelo. Ya que se ha demostrado que existe una adecuada gestión de energía por parte de los elementos almacenadores de energía, debido al aprovechamiento del ultracapacitor en los instantes que varía la carga, por lo cual se debe buscar tener batería y ultracapacitor dentro de un sistema híbrido de almacenamiento de energía (Hernández & Rojas, 2018). Por lo tanto, la configuración de este proyecto incluye la interconexión de un banco de voltaje mayor, que suministra potencia a un banco de baterías de voltaje menor al ocurrir un efecto nube en el panel FV. Así, conociendo el comportamiento de la demanda y de la evolución del estado de carga del banco de baterías pueden ser inducidos los valores de voltaje en el bus de la microred, los cuales pueden servir como datos de realimentación en el control y gestión de la microred (Mírez, Hernández-Callejo, Horn, & Bonilla, 2017), tal como ocurre en el monitoreo de las curvas de carga y descarga del sistema de GEEMTA a través de las interfaces de supervisión de los módulos de control de los convertidores Buck-Boost.

## Capítulo II.- Marco teórico

Un sistema híbrido de GEEMTA es un prototipo tecnológico que integra como mínimo los subsistemas eléctrico, mecánico, electrónico y electromecánico, destinados a la producción de energía eléctrica mediante alternativas tecnológicas llamadas verdes. Son sistemas que a partir de un análisis cuantitativo-cualitativo, permiten estimar el grado de desarrollo que un investigador aporta en la innovación de un sistema de GEEMTA y, de esta manera el grado de participación social que se tiene con la comunidad involucrada y con el desarrollo sustentable del país (Candia & Galindo, Sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, Titulación en IES, 2012), (Adame, Candia, & Galindo, 2012).

También estos sistemas de GEEMTA han sido llamados por Valenciaga (2001) de manera genérica como Sistemas Híbridos de Generación de Energía Eléctrica (SHGEE) (Valenciaga, 2001).

## Fuentes controladas de CA-CC

La conversión CA/CC es realizada por convertidores estáticos de energía, comúnmente denominados rectificadores. Por tanto, un rectificador es un sistema electrónico de potencia cuya función es convertir una tensión alterna en una tensión continua. Los rectificadores controlados reciben este nombre por que utilizan un dispositivo de control, en este caso el tiristor. Se utilizan las mismas topologías que en el caso de los rectificadores no controlados, pero sustituyendo los diodos por tiristores. La ventaja de utilizar tiristores viene dada por la capacidad de éstos de retardar su puesta en conducción, sucediendo ésta cuando la tensión ánodo-cátodo sea positiva y además reciba un pulso adecuado de tensión y corriente en su puerta. Al retardar el ángulo de disparo es posible variar la tensión rectificadora de salida, de ahí el calificativo de “controlados”. En los rectificadores controlados, por lo tanto, se controla la puesta en conducción del tiristor y el bloqueo se realiza de forma natural cuando se anula la corriente por el dispositivo<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Tomado de:

[https://llamados.ancap.com.uy/docs\\_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2040\\_2013%20%20TÉCNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIERÍA%20\(ELECTROELECTRÓNICO\)/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/CONOCIMIENTOS%20ESPECÍFICOS/CONVERTIDORES-RECTIFICADORES.PDF](https://llamados.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2040_2013%20%20TÉCNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIERÍA%20(ELECTROELECTRÓNICO)/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/CONOCIMIENTOS%20ESPECÍFICOS/CONVERTIDORES-RECTIFICADORES.PDF)

## Rectificador monofásico totalmente controlado

En este montaje, los diodos que formaban el puente rectificador no controlado se sustituyen por tiristores tipo SCR, haciendo posible el control de fase de una onda completa de la señal de entrada. El circuito se puede ver en la figura 2.1.

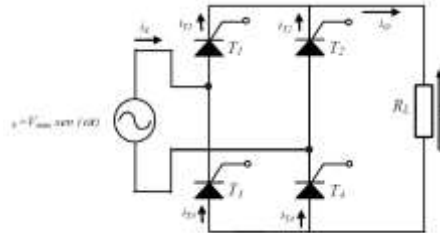


Figura 2.1.- Rectificador monofásico totalmente controlado.

Los tiristores T1 y T4 conducirán durante el semiciclo positivo de la entrada, y los tiristores T2 y T3 en el negativo. Eso quiere decir que los tiristores se dispararán de dos en dos con un ángulo de fase  $\alpha$  retardado a partir del paso por cero de la tensión de entrada. La figura 2.2 muestra las formas de onda de la corriente de entrada y de la tensión de salida del rectificador.

### Tensión media en la carga:

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_{max} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{1}{\pi} V_{max} (-\cos \pi + \cos \alpha) = \frac{V_{max}}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

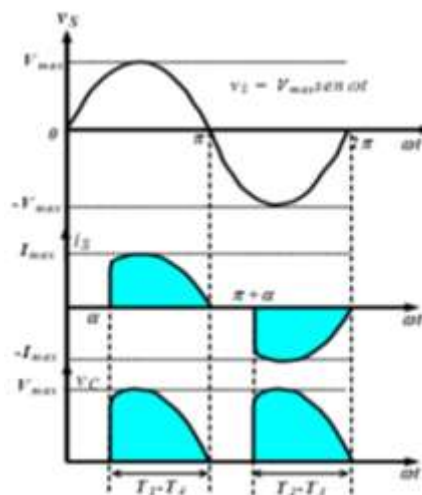


Figura 2.2.- Forma de onda del puente rectificador totalmente controlado, con carga resistiva.

Para  $\alpha = 0^\circ$ , la tensión media en la carga será:  $V_{dc} = \frac{2V_{max}}{\pi}$

### Tensión eficaz en la carga

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{max} \text{sen} \omega t)^2 d\omega t} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}\sqrt{\pi}} \sqrt{\left[ (\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \text{sen} 2\alpha \right]} \quad (1)$$

### Intensidad media de la carga

$$I_{dc} = \frac{I_{max}}{\pi} (1 + \text{cos} \alpha) \quad (2)$$

## Cargadores de baterías

Una de las aplicaciones más comunes de los rectificadores son los cargadores de baterías. La idea es transformar energía de CA (red monofásica o trifásica) en CC para cargar baterías. La figura 3.15 muestra un esquema de un típico cargador de baterías. El rectificador puede ser de cualquier tipo, controlado, no controlado, monofásico, trifásico, de media onda o de onda completa, etc., dependiendo de las disponibilidades y necesidades de energía. En el caso de la figura 3.15 se trata de un cargador de batería controlado, puesto que, dependiendo del ángulo de disparo de cada uno de los SCR, se controla la corriente de carga de la batería. Se suele añadir una impedancia entre la batería y el rectificador, típicamente una bobina, para limitar la corriente y reducir el rizado. Para mejorar la vida de las baterías es necesario realizar un control complejo del sistema, ya sea, en modo tensión o modo corriente, de manera que se optimice el ciclo de carga y se alargue la vida de las baterías.

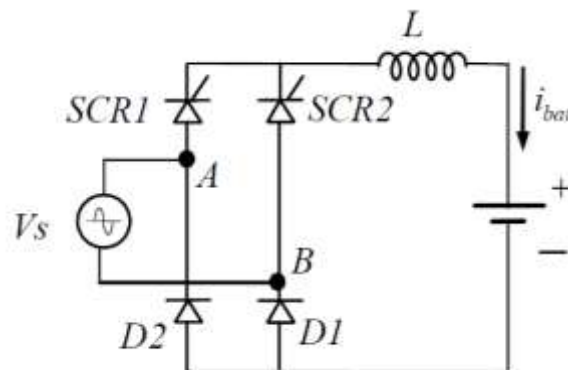


Figura 2.3.- Cargador de baterías en puente completo controlado.

## Alternativa comercial

### Módulo Fuente de Alimentación Conmutada CA-CC 4-6A 24V



Este módulo convierte la corriente alterna de un rango entre 85 y 265V RMS a corriente continua fija de 24V. Con este módulo se convertirá la corriente alterna proveniente ya sea de un aerogenerador o de una toma de corriente de 110V RMS y se va a convertir a 24Vcc fijos, con ello se alimentará un módulo Buck (Convertidor CC-CC tipo Buck o Step-Down de 300W 20A) para realizar la carga del banco de baterías de 12V

El módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

- ✚ Voltaje de entrada: 85V a 265V AC
- ✚ Voltaje de salida: 24V DC
- ✚ Corriente de salida: 4A a 6A
- ✚ Potencia de salida: 100W máximo
- ✚ Frecuencia de operación: 50/60 Hz

## Fuentes conmutadas

Como la principal desventaja de las fuentes lineales es su eficiencia. Para elevar la eficiencia lo ideal es minimizar las pérdidas en el elemento regulador. En las fuentes conmutadas lo que se hace es utilizar un transistor en la zona de corte y saturación, de esta forma se tiene periodos de tiempo en la que la corriente y la tensión son nulos. Esto se logra convirtiendo la tensión de entrada en una señal cuadrada.

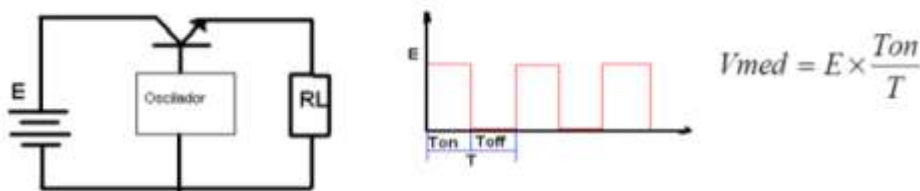
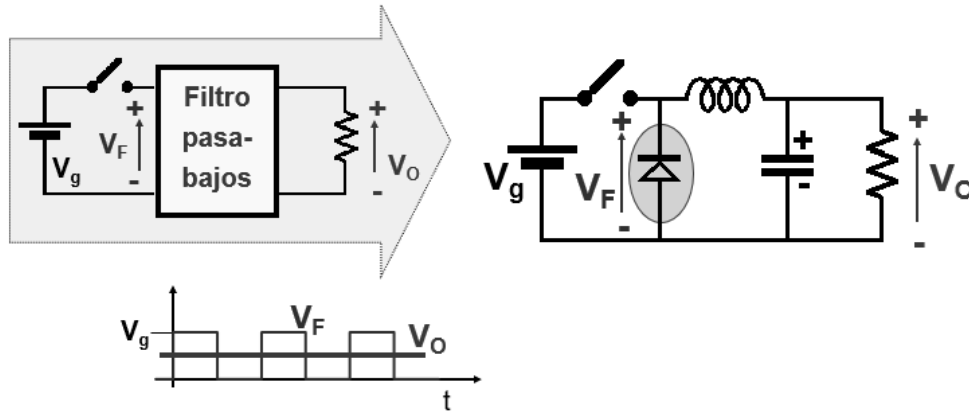


Figura 2.4.- Concepto básico de las fuentes conmutadas.

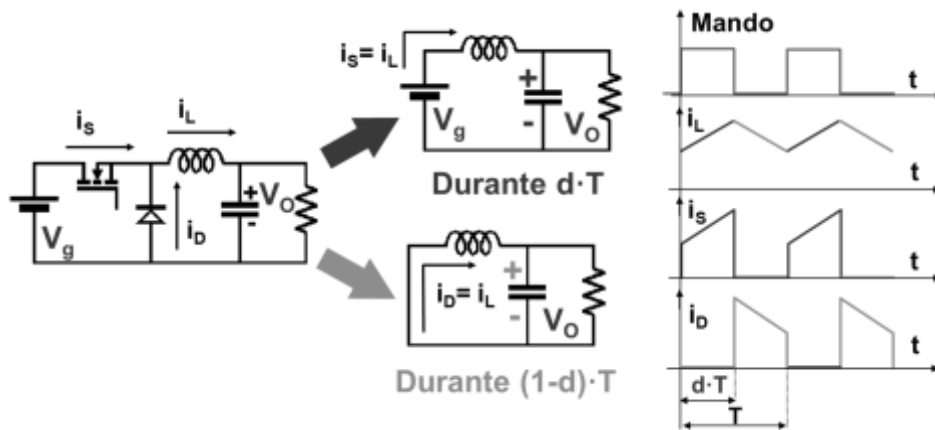
## Topologías básicas<sup>4</sup>

### Diseño de un Buck Converter



Hipótesis del análisis:

- La tensión de salida no varía en un ciclo de conmutación.
- La corriente en la bobina no llega a valer nunca cero (modo continuo de conducción).



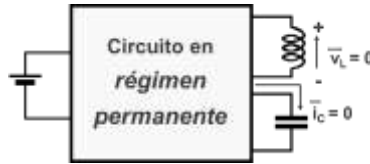
¿Cómo calcular la relación entre variables eléctricas?

Para ello, vamos a recordar dos propiedades de las bobinas y de los condensadores en circuitos que estén en régimen permanente:

- La tensión media en una bobina es nula.

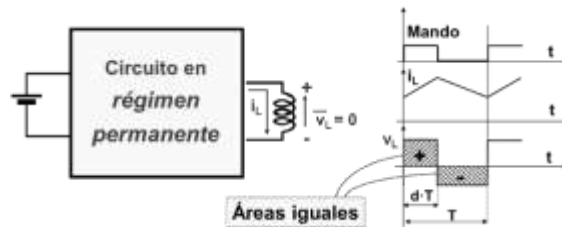
<sup>4</sup> Tomado de: [https://www.unioviado.es/sebas/D\\_Sistemas\\_Electronicos\\_de\\_Potencia.htm](https://www.unioviado.es/sebas/D_Sistemas_Electronicos_de_Potencia.htm)

- La corriente media en un condensador es nula.



En caso contrario, crecería indefinidamente la corriente en la bobina y la tensión en el condensador (incompatible con el régimen permanente).

Frecuentemente, cuando se opera en “modo continuo de conducción”, la forma de onda de tensión en la bobina es rectangular “suma de productos volts·segundos = 0”

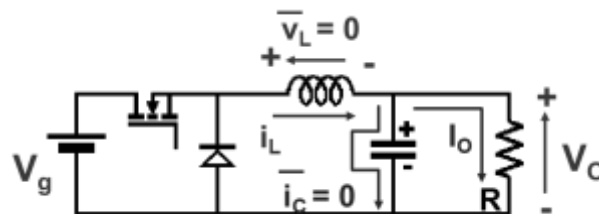


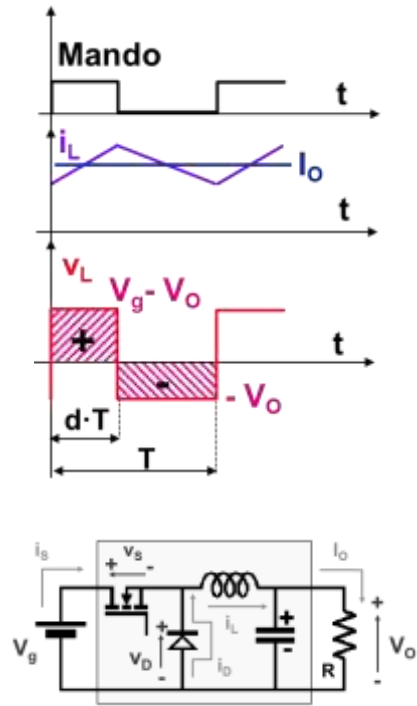
Aplicación del balance “suma de productos volts·segundos = 0”

$$(V_g - V_o) \cdot d \cdot T - V_o \cdot (1 - d) \cdot T = 0 \Rightarrow V_o = d \cdot V_g$$

Corriente media nula por el condensador

$$i_L = I_o = V_o/R$$





Aplicación del balance de potencias

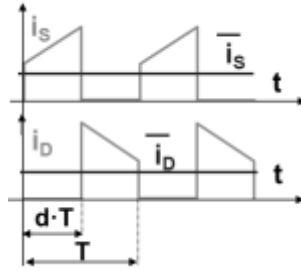
Corriente media por el diodo

$$i_s = I_o \cdot \frac{V_o}{V_g} \rightarrow i_s = I_o \cdot d$$

$$i_D = i_L - i_s \rightarrow i_D = I_o \cdot (1 - d)$$

Tensiones máximas

$$v_{s\ MAX} = v_{D\ MAX} = v_g$$



### Alternativas comerciales

#### Convertidor CC-CC tipo Buck o Step-down de 6V-40V a 5V y 3A para dual USB.



Este módulo se encarga de convertir la corriente continua de un rango entre 6 y 40V a corriente continua estable de 5V en dos puertos USB de 1.5A cada uno al usarse simultáneamente o 3A al usar sólo uno. Estos puertos USB permiten cargar cualquier dispositivo que se conecte mediante este estándar, principalmente teléfonos celulares y tabletas.

Adicionalmente el módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

- Voltaje de entrada: 6V-40V
- Voltaje de salida: 5V
- Corriente de salida: 3A
- Potencia de salida: 15W
- Eficiencia de conversión: 92% (12V a 3A)
- Frecuencia de trabajo: 150kHz

#### Convertidor CC-CC tipo Buck o Step-Down de 300W 20A



Este módulo se encarga de convertir la corriente continua de un rango entre 6 y 40V a corriente continua estable en un rango de 1.2V a 36V. Este módulo tiene la tarea de regular el voltaje de descarga de las baterías proporcionando una salida fija que se va a establecer a 12V constantes para alimentar en módulo inversor (Convertidor CC-CA de 12V a 110/200/220/280V a 150W).

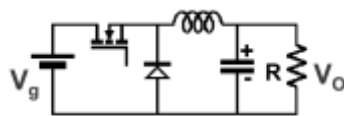
Adicionalmente el módulo tiene la ventaja de poder mantener una corriente de salida invariable respecto al voltaje tanto de entrada como de salida, lo cual es ideal para controlar la descarga de las baterías dependiendo de la demanda en la carga.

Adicionalmente el módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

- Voltaje de entrada: 6V-40V (10V a 40V sugerido)
- Voltaje de salida: 1.2V a 36V
- Corriente de salida: 20A (máximo), 15A (sugerido)
- Potencia de salida: 300W máximo
- Eficiencia de conversión: 95% (24V a 12V, 20A)

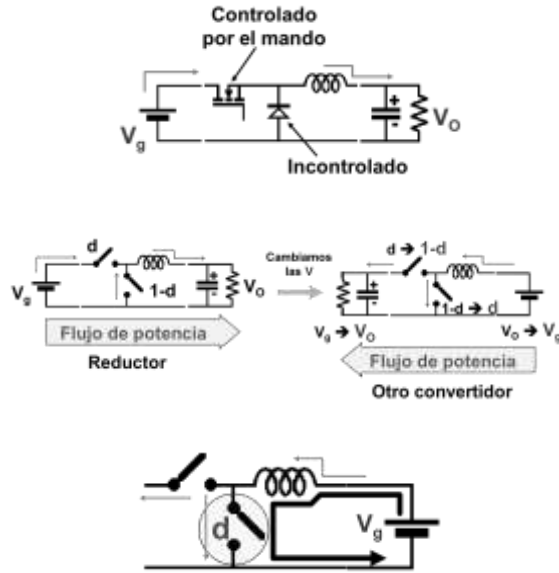
### Diseño de un Boost Converter

Se parte del convertidor reductor:

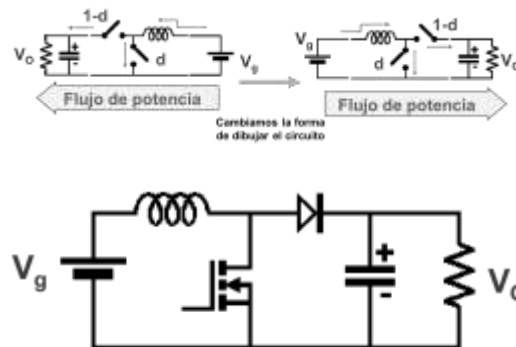


Convertidor reductor





Este interruptor tiene que ser el controlado por el mando. Si no fuera así, habría un corto circuito permanente.



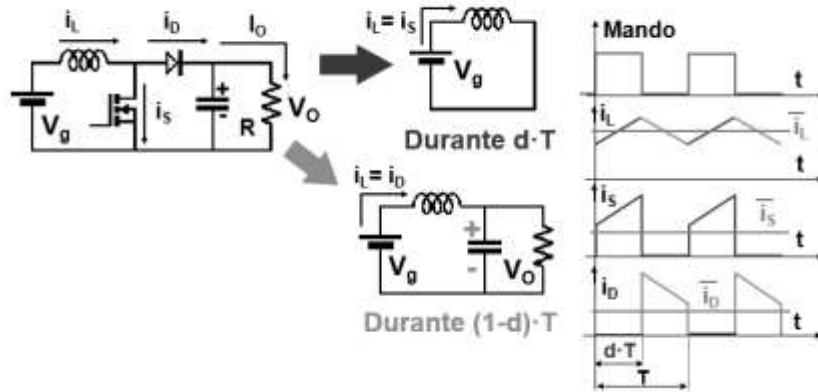
Análisis del convertidor elevador (Boost), en modo continuo de conducción.

Balance volts segundos

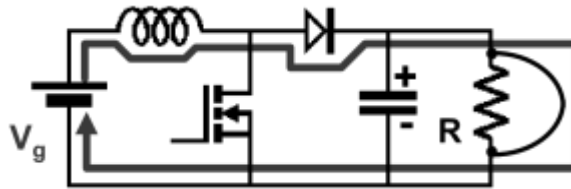
$$V_g \cdot d \cdot T + (V_g - V_o) \cdot (1 - d) \cdot T = 0 \rightarrow V_o = \frac{V_g}{(1 - d)}$$

Balance de potencias

$$\bar{i}_L = I_o \cdot \frac{V_o}{V_g} \rightarrow \bar{i}_s = \bar{i}_L \cdot d \rightarrow \bar{i}_D = \bar{i}_L \cdot (1 - d)$$



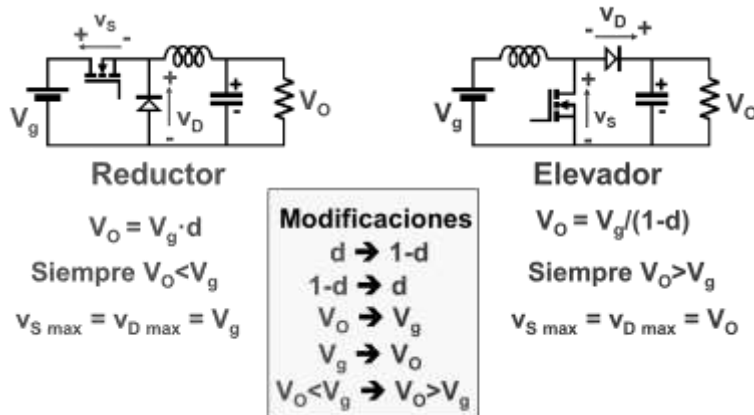
El cortocircuito y la sobrecarga en el convertidor elevador



Este camino de circulación de corriente no puede interrumpirse actuando sobre el transistor.

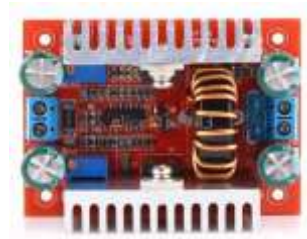
El convertidor no se puede proteger de esta forma.

### El convertidor reductor frente al elevador (Buck vs Boost)



### Alternativa comercial

## Convertidor DC-DC Boost Elevador Ajustable 15A 400W 10–60V



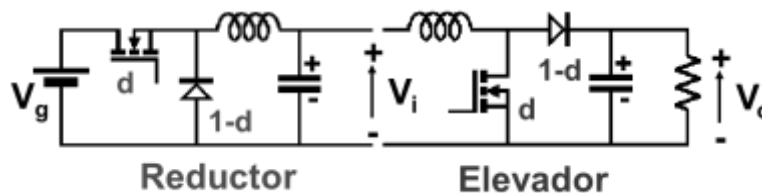
Este módulo se encarga de convertir la corriente continua de un rango entre 8.5 y 50V a corriente continua estable en un rango de 10V a 60V. Su finalidad es elevar el voltaje de entrada por un factor determinado que puede ser ajustado mediante unos potenciómetros en el propio módulo, adicionalmente el módulo tiene la ventaja de poder mantener una corriente de salida invariable respecto al voltaje tanto de entrada como de salida, lo cual es ideal para controlar la carga de un banco de baterías mediante la alimentación de un panel solar. Adicionalmente, puede ser utilizado para alimentar equipos que utilicen CC y con una demanda alta de corriente como lo es una Laptop (19V 15A).

El módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

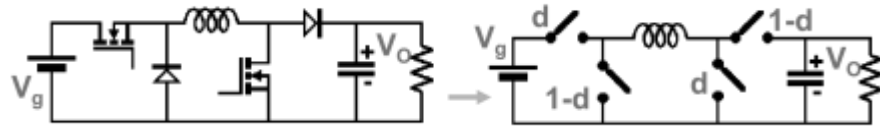
- ⚡ Voltaje de entrada: 8.5V-50V
- ⚡ Voltaje de salida: 10V a 60V
- ⚡ Corriente de salida: 0.2A a 15A
- ⚡ Potencia de salida: 400W máximo
- ⚡ Eficiencia de conversión: 96% (24V a 12V, 12A)
- ⚡ Frecuencia de operación: 150 kHz

### Diseño de un Buck-Boost Converter

¿Es posible encontrar un convertidor que pueda reducir y elevar? (I)

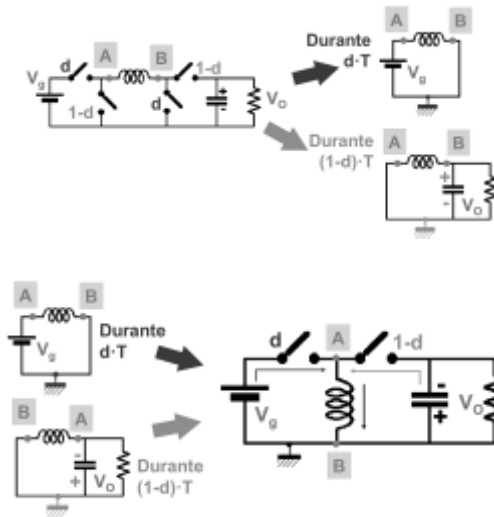


$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_g} = \frac{d}{1-d}$$

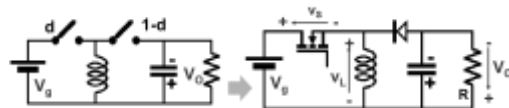


¿Es posible agrupar interruptores?

Basta invertir el terminal común (masa) en el subcircuito de (1-d) T



El convertidor reductor-elevador (buck-boost)

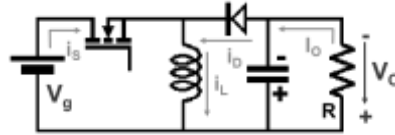


Balance voltios-segundos

$$V_g \cdot d \cdot T - V_o \cdot (1-d) \cdot T = 0 \rightarrow V_o = \frac{V_g \cdot d}{(1-d)}$$

Tensiones máximas

$$V_{S\ MAX} = V_{d\ MAX} = V_g + V_0 = \frac{V_g}{(1-d)}$$



Corriente media por el diodo

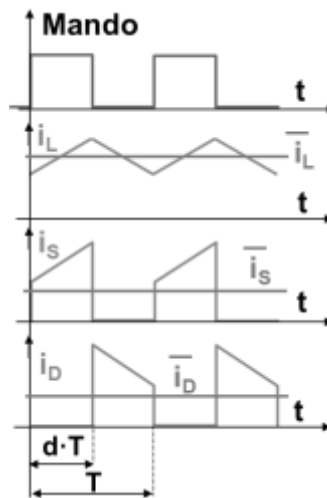
$$i_D = I_0 = \frac{V_0}{R}$$

Balance de potencias

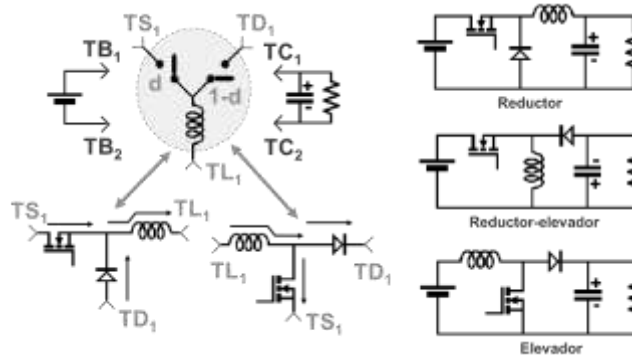
$$i_s = I_0 \cdot \frac{V_0}{V_g} \rightarrow i_s = I_0 \cdot \frac{d}{1-d}$$

Corriente media por la bobina

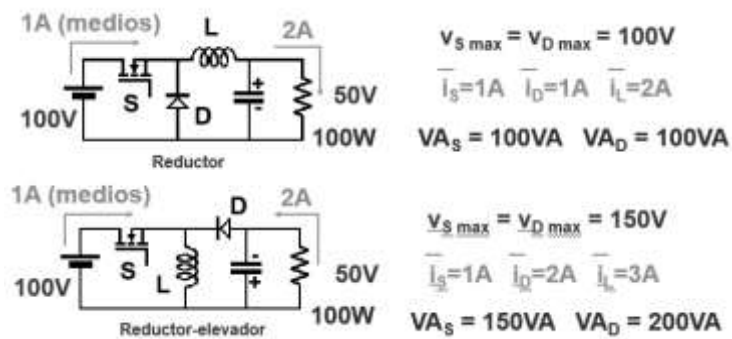
$$i_L = i_D + i_s \rightarrow i_L = \frac{I_0}{(1-d)}$$



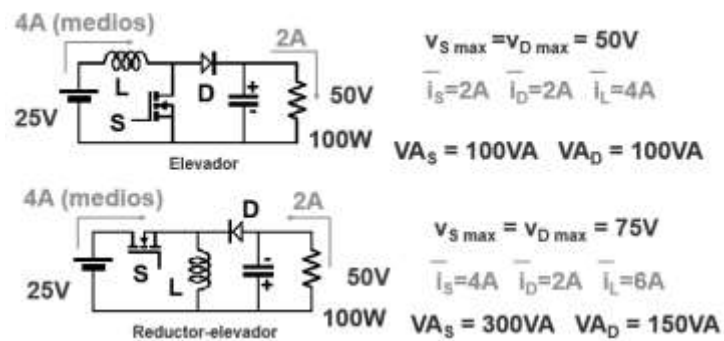
Otra forma de generar los convertidores básicos



Comparando reductor y reductor-elevador



Las solicitaciones eléctricas en el reductor-elevador son mayores



## Alternativa comercial

### RD DPH5005 Convertidor tipo Buck-boost programable hasta 50V a 5A



Este módulo buck-boost se encarga de convertir la corriente continua de un rango entre 6 y 50V a corriente continua estable en un rango de 0V a 50V. Este módulo tiene la tarea de regular el voltaje de carga de las baterías proporcionando una salida fija que se va a establecer a 34V constantes para realizar la carga de las baterías con una entrada variable en el tiempo que es la del panel solar que oscila entre 8 y 16V según las condiciones de operación.

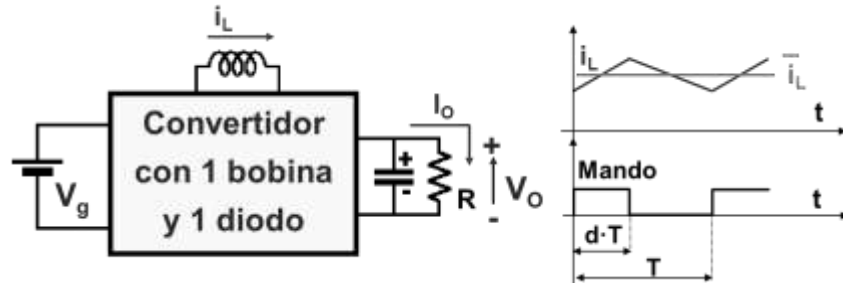
Adicionalmente el módulo tiene la ventaja de poder mantener una corriente de salida invariable respecto al voltaje tanto de entrada como de salida, lo cual es ideal para controlar la carga de las baterías que se fijarán a 2A. Por otro lado, el módulo puede ser programado con 2 configuraciones preestablecidas que serán útiles para realizar el switcheo de carga y descarga de las baterías, esta programación puede realizarse mediante una interfaz USB a un computador o mediante Bluetooth mediante un teléfono inteligente.

Adicionalmente el módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

- Voltaje de entrada: 6V-50V
- Voltaje de salida: 0V a 5V
- Corriente de salida: 0A a 5A
- Potencia de salida: 0 – 250W
- Resolución de salida: 0.01V y 0.001A

- Precisión de salida:  $\pm (0.5\% + 2 \text{ dígitos})$  voltaje y  $\pm (0.5\% + 3 \text{ dígitos})$  Corriente
- Eficiencia de conversión: 95% (24V a 12V, 20A)

### El modo de conducción en los tres convertidores básicos



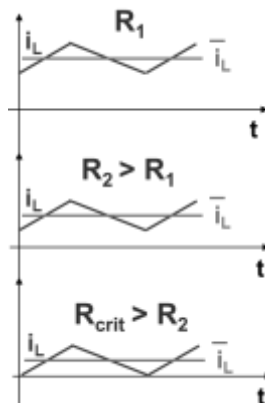
El valor medio de  $i_L$  depende de  $I_0$ :

$$i_L = I_0 \text{ (reductor)}$$

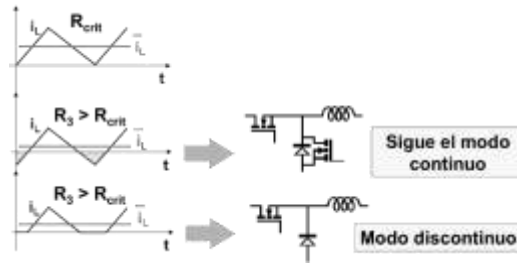
$$i_L = \frac{I_0}{1-d} \text{ (elevador y reductor-elevador)}$$

- ✓ Al variar  $I_0$  varía el valor medio de  $i_L$
- ✓ Al variar  $I_0$  no varían las pendientes de  $i_L$  (dependen de  $V_g$  y de  $V_O$ )

Todos los casos corresponden al llamado “modo continuo de conducción” (mcc), en el que es válido todo lo estudiado

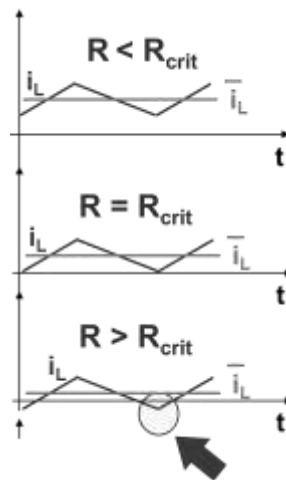


¿Qué pasa si R es mayor que  $R_{crit}$ ?

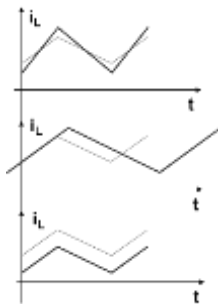


**Recuerde que:** Al variar  $I_o$  varía el valor medio de  $i_L$

Con parte negativa (modo continuo a baja carga), la tensión de salida sería la calculada en modo continuo. Cuando estamos en discontinuo no existe la parte negativa, lo que causa que la corriente media en la bobina crezca y por tanto lo haga la corriente y la tensión de salida.



Nos acercamos a las condiciones críticas (y por tanto al modo discontinuo) si:



- ✓ Bajamos el valor de las bobinas (*aumentan las pendientes*)
- ✓ Bajamos el valor de la frecuencia (*aumentan los tiempos en los que la corriente está subiendo o bajando*)
- ✓ Aumentamos el valor de la resistencia de carga (*disminuye el valor medio de la corriente por la bobina*)

## Inversores CC-CA

Los inversores<sup>5</sup> son aquellos dispositivos que funcionen automáticamente, sin necesidad de estar conectados a ninguna red de alterna, de forma que se permita la transformación de continua a alterna cuando en el lado de alterna sólo haya receptores de energía. A estos dispositivos se les denominará inversores u onduladores autónomos o autoguiados.

También son considerados como inversores estáticos con semiconductores y al ser de una potencia menor de 500 kW, trabajaran con transistores. Siendo alimentados por tensión constante se les conoce como (VSI). Para estudiar el principio de funcionamiento de los inversores u onduladores autónomos, se verá a continuación un ejemplo, constituido por un inversor monofásico en configuración semipunte. El circuito y las formas de onda correspondientes se muestran a continuación.

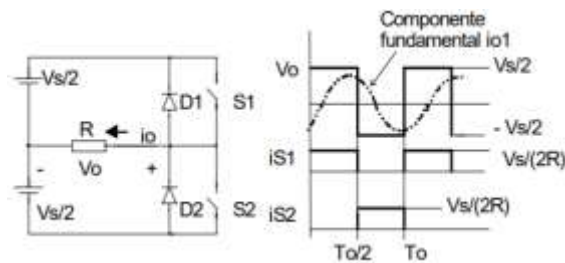


Figura 2.5.- inversor monofásico en configuración semipunte.

El principio de funcionamiento se basa en la conducción de un interruptor durante un semiperíodo, instante durante el cual se le aplica a la carga una tensión igual a  $V_s/2$ , junto con la imposición de una conducción alternada y no simultánea de ambos interruptores. La tensión RMS a la salida puede expresarse como:

$$V_{0\_RMS} = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2}$$

<sup>5</sup> [https://www.uv.es/emaset/iep00/temas/IEP11\\_0607.pdf](https://www.uv.es/emaset/iep00/temas/IEP11_0607.pdf)

La tensión instantánea de salida puede ser expresada en términos de la serie de Fourier como:

$$V_o = \begin{cases} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \pi} \cdot \sin(n \omega t) \\ 0 \rightarrow n = 2, 4, \dots \end{cases}$$

Donde  $\omega = 2\pi f_o$  es la frecuencia de la tensión de salida en radianes/seg. Sustituyendo  $n=1$  en la ecuación anterior obtenemos el valor instantáneo de la componente fundamental, que calculando su valor RMS se obtiene:

$$V_{1_{rms}} = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.45 V_s$$

En general las cargas alternas de los inversores no suelen ser simplemente resistivas. Casi sin excepción, el factor de potencia en la carga no es la unidad, y en la mayoría de los casos la potencia media que se transfiere a la carga corresponde únicamente a la frecuencia fundamental, dado que las cargas dispondrán de su componente reactiva. De esta manera para una carga RL, la corriente instantánea  $i_o$  de la carga tendrá la siguiente expresión:

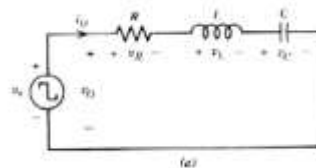
$$i_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \pi \cdot \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \cdot \sin(n\omega t - \theta_n) \quad \text{donde } \theta_n = \arctan(n\omega L / R)$$

Si  $I_{o1}$  es la componente fundamental de la corriente de la carga, la potencia de salida será:

$$P_{o1} = V_1 \cdot I_{o1} \cdot \cos(\theta_1) = I_{o1}^2 \cdot R = \left[ \frac{2 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]^2 \cdot R$$

En la mayoría de las aplicaciones la potencia de salida debida a la corriente de la componente fundamental es la potencia útil, y la potencia debida a las corrientes armónicas es disipada en forma de calor. Veamos la respuesta de este inversor para el caso de una carga general constituida por un circuito RLC. Las ecuaciones del circuito son:

$$\begin{cases} \frac{E}{2} - R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \rightarrow \text{para } 0 \leq t \leq T_{on} \\ -\frac{E}{2} - R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \rightarrow \text{para } \frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} + T_o \end{cases}$$



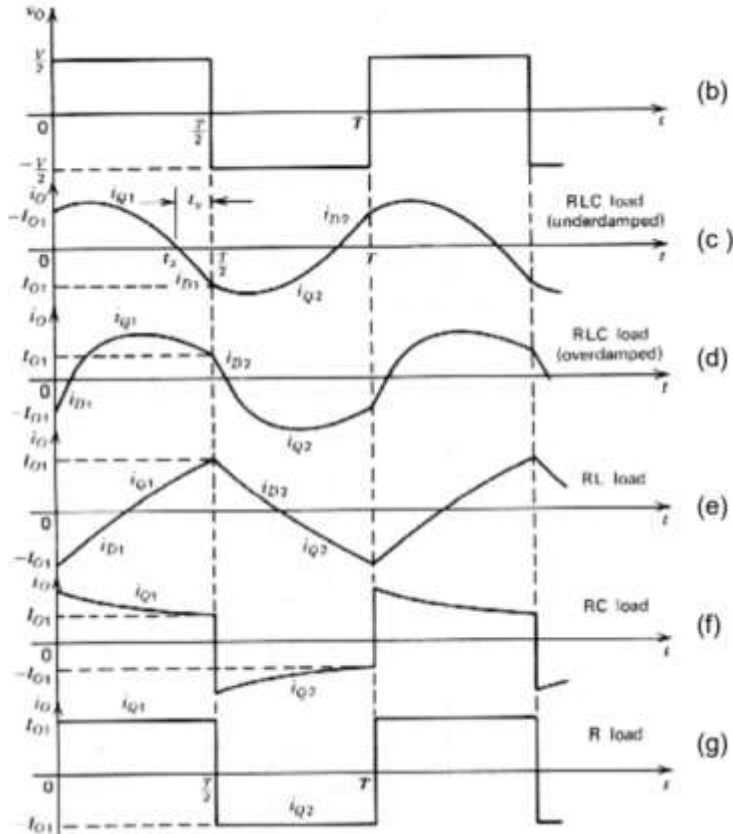


Figura 2.6.- Formas de ondas de un inversor monofásico.

Si se tiene una carga predominantemente inductiva la intensidad estará retrasada con respecto a la tensión y adelantada si este predominio es capacitivo, como podemos ver en la figura (d) y en la figura (c) respectivamente. En las figuras anteriores vemos que las formas de onda se aproximan tanto más a una senoide cuanto menor sea el factor de amortiguamiento  $R \ll L$  y cuando la inductancia y la capacitancia estén próximas a la resonancia para:

$$\omega_L \cong \frac{1}{C_w}$$

## Alternativa comercial

### Convertidor CC-CA de 12V a 110/200/220/280V a 150W



Este módulo se encarga de convertir la corriente continua de 12V a corriente alterna de 110V lo cual permite alimentar sistemas de iluminación o alguna carga pequeña como cargadores de celulares, ya que la carga máxima de operación del módulo es de 150W.

Adicionalmente el módulo tiene las siguientes características físicas y de operación:

- Voltaje de entrada: DC12V
- Voltaje de salida: 110V/200V/220V/280V
- Forma de onda de salida: Cuadrada de alta frecuencia/CC (sin filtro).
- Potencia de salida: 150W Nominales, Máximo 200W (Cuando sea mayo de 100W, se recomienda usar ventilador).
- Corriente nominal de 12V (sin carga): 250mA.
- Frecuencia de trabajo: 37kHz.

## Estrategia de control

En la revisión de la lectura Education Platform for Simulation of Buck Converter in Matlab GUI (Xu & Shi, 2012). Se identificaron dos modos de control por voltaje y por corriente, en ambos casos son modos de control para los convertidores conmutados por medio de Pulse-Width Modulation (PWM). Para el dispositivo propuesto el control es por voltaje.

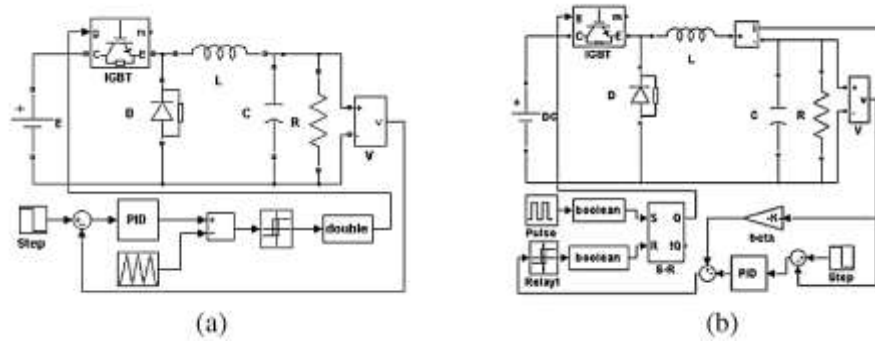


Figura 2.7.- (a) Modo de control por voltaje, (b) Modo de control por corriente.

La modulación del ancho del pulso senoidal (Sinusoidal Pulse Width Modulation –sinusoidal PWM–), también conocida como PWM subarmónica (Sub-harmonic PWM), es una de las técnicas de modulación más ampliamente estudiada y empleada en aplicaciones industriales, debido a su simplicidad y a los buenos resultados que garantiza en todas las condiciones de trabajo, incluida la sobre modulación Esta técnica consiste en comparar una señal de consigna senoidal, denominada moduladora, con señal denominada portadora, usualmente de forma de onda triangular, en algunos casos tipo diente de sierra. La comparación de estas dos señales da como resultado las órdenes de conmutación de los interruptores del convertidor (Mohan, Undeland, & Robbins, 2009).

La realización física de la estrategia PWM senoidal es simple, empleando integradores analógicos y comparadores para la generación de las señales de conmutación. Hoy en día, es más habitual emplear sistemas digitales para generar las señales de conmutación, donde los integradores digitales se sustituyen por temporizadores digitales específicos, denominados temporizadores PWM.

En cualquier caso, las señales de conmutación obtenidas para cada periodo de conmutación suelen ubicarse temporalmente con simetría de periodo, con objeto de reducir las conmutaciones, ver figura 2.25 (Alepuz, 2004).

Para finalizar con la estrategia de conmutación PWM senoidal, algunas de sus características son:

- ✚ Simplicidad.
- ✚ Contenido armónico reducido.

- ✚ Buen resultado incluso en sobremodulación.
- ✚ Algunos niveles del convertidor no se emplean cuando el índice de modulación es bajo.

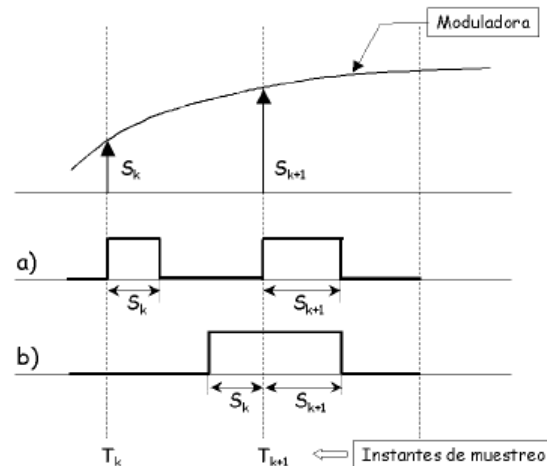


Figura 2.8.- PWM por muestreo natural en un sistema digital. (a) Sin simetría de período, (b) Con simetría de período.

Considerando que este trabajo busca posteriormente la generación de microrredes, la estrategia de control inicial es la modulación por ancho de pulso (PWM), la cual de acuerdo con (Barrado, 1999) tiene la capacidad de incorporar una propuesta original de una nueva estrategia de control denominada “Control PWM-PD” (Modulación de anchura de pulso - Retardo de pulso). Esta filosofía de control combina las estrategias de control por modulación de anchura de pulso (PWM) y la estrategia de control mediante desplazamiento de fase (SP). La principal ventaja que presenta el nuevo control PWM-PD frente a sus antecesores es que, con un mismo número de señales de control y gobierno, genera mayor número de parámetros de control independientes. Esta característica otorga a esta estrategia una mayor capacidad de control, al conseguir un mayor número de parámetros de control que número de componentes controlados (habitualmente transistores). Otras características destacables del control PWM-PD son su sencillez conceptual, su facilidad de implementación, especialmente en algunos campos de la técnica, y su funcionamiento a frecuencia fija. En este sentido, se destaca su aplicabilidad a los convertidores de múltiples salidas (Barrado, 1999).

## Capítulo III.- Marco Metodológico

La metodología es exploratoria-experimental, con base en el método científico-deductivo, los resultados se obtienen por medición directa y se comparan contra el comportamiento ideal de una simulación virtual en Simulink, para tres escenarios a media carga, a carga completa, sobrecarga del 25%. Posteriormente los resultados se capturan en tablas y analizan de manera comparativa para obtener un porcentaje de desviación entre los valores y datos obtenidos.

Procedimiento:

1. Identificación de los requerimientos de demanda de carga y potencia de alimentación.
2. Selección de los dispositivos didácticos comerciales.
3. Configuración de la tipología del sistema de GEEMTA.
4. Configuración y modelado en simulink del comportamiento del dispositivo regulador de carga mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA.
5. Simulación virtual en los tres escenarios propuestos.
6. Toma de datos de la medición virtual y captura de datos en la tabla comparativa.
7. Construcción y cableado de la integración del dispositivo regulador de carga mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA.
8. Operación controlada del dispositivo en los tres escenarios propuestos.
9. Toma de mediciones y captura de datos en la tabla comparativa.
10. Comparativa de datos.
11. Análisis de los resultados obtenidos de la comparativa y discusión del comportamiento del regulador.
12. Recomendaciones y ajustes de la integración.
13. Conclusiones.

## Diagrama secuencial de desarrollo

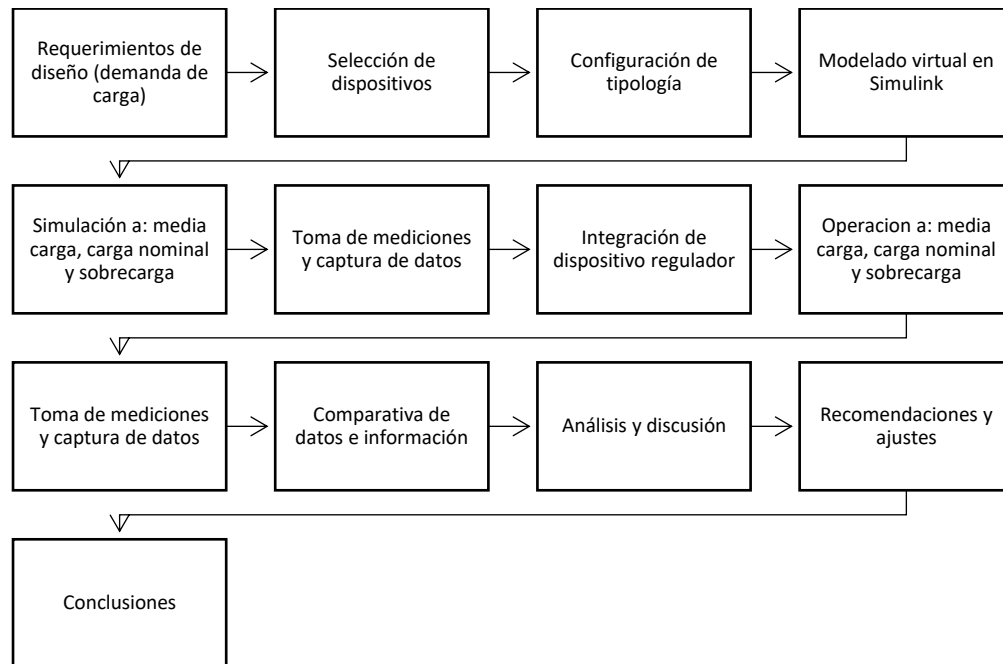


Figura 3.1.- Diagrama secuencial de desarrollo del proyecto.

## Capítulo IV.- Desarrollo

## Identificación de los requerimientos de demanda de carga y potencia de alimentación

Se realizó de manera experimental al comparar los datos de salida del inversor que es de 150 watts y de la salida de los dos Buck converter de 30 watts. La carga teórica se estimó de 180 watts el equivalente en la NOM-001-SEDE-2012 a un contacto monofásico de 110 volts de corriente alterna. La carga real conectada fue de ...watts que consistió en:

- ✚ ...Celular
- ✚ ...Lap Top
- ✚ ...Foco incandescente.

## Selección de los dispositivos didácticos comerciales.

Se llevó a cabo por medio de la búsqueda de páginas de empresas comercializadoras seleccionando la marca que ofreció el costo más económico (ver Anexo I, cotización).

## Configuración de la tipología del sistema de GEEMTA.

En esta investigación se desarrolla una descripción del Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica mediante Tecnologías Alternativas (GEEMTA) y se evalúan las posibles tipologías que se pueden presentar y que han sido estudiadas por Valenciaga (2001).

## Posibles tipologías

Unidireccional (una sola casa habitación)

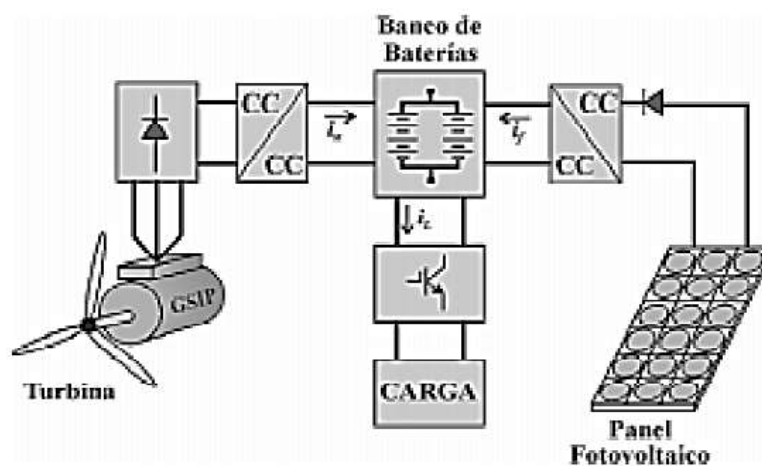


Figura 4.1.- Estructura General de un SHGEE unidireccional para un conjunto de casas habitación. Tomado de (Valenciaga, 2001).

## Bidireccional (conjunto de casas habitación)

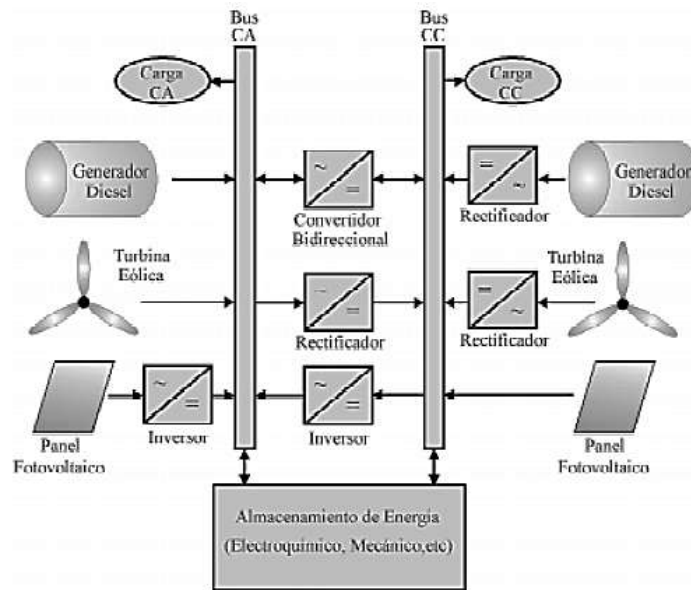


Figura 4.2.- Estructura General de un SHGEE bidireccional para un conjunto de casas habitación. Tomado de (Valenciaga, 2001).

Otra tipología que se estudio fue la propuesta por (Delgado, Monge, & Farrerons, 2006), quienes propusieron un sistema que se compone de una matriz de 4 por 4 (cuatro columnas en paralelo formadas cada una por cuatro paneles en serie) de paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino I-165 de Isofotón, con una potencia total pico de 2,64 kW (bajo condiciones estándar de test) conectado a un banco de baterías mediante un regulador. CC/CC de Xantrex, modelo C40, un aerogenerador de eje vertical de 750 W, modelo WRE.007, de Ropatec, conectado al banco de baterías mediante el convertidor CA/CC del mismo fabricante, un banco de baterías de NiCd de 5040 Wh de capacidad de SPSI, un inversor CC/CA de Xantrex SW3040 y una carga electrónica programable. Se puede ver un esquema del sistema en la Figura 4.3.

El sistema se complementa mediante un completo equipo de monitorización y adquisición de datos para posteriores análisis y evaluaciones de rendimientos. Para tal efecto se requieren de un total de dieciséis variables a monitorizar (entre tensiones, corrientes y temperaturas) y su posterior procesado para obtener conclusiones (Delgado, Monge, & Farrerons, 2006).

Se concentró la revisión en la comparación de los sistemas de bus. Se identificó que el bus de AC / DC convencional ofrece algunas ventajas convincentes en comparación con los sistemas de bus de CA o CC. Puede satisfacer las cargas de CA directamente, a diferencia de un sistema de bus de CC (Ross, Turcotte, Roussin, & Fry, 2004)

### Análisis de tipologías de conexión

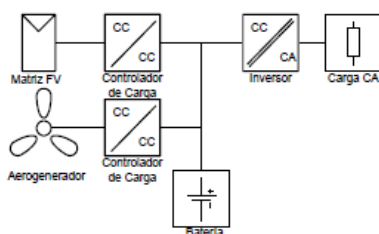


Figura 4.3.- Diagrama de bloques de la instalación híbrida SAGER, con un bus de CC.  
Tomada de (Delgado, Monge, & Farrerons, 2006).

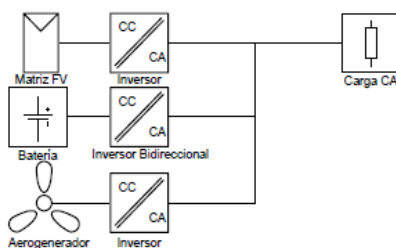


Figura 4.4.- Diagrama de bloques de la instalación híbrida SAGER, con un bus de CA.  
Tomada de (Delgado, Monge, & Farrerons, 2006).

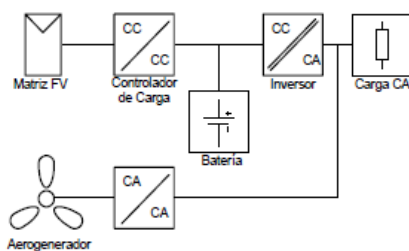


Figura 4.5.- Diagrama de bloques de la instalación híbrida SAGER, con un bus de CC/CA.  
Tomada de (Delgado, Monge, & Farrerons, 2006).

### Modelo del sistema de GEEMTA a emplear

A partir del estudio realizado por Valenciaga y Delgado, se decidió realizar una propuesta particular, la cual se describe a continuación por medio de un diagrama de bloques, la cual es unidireccional con Bus de CC.

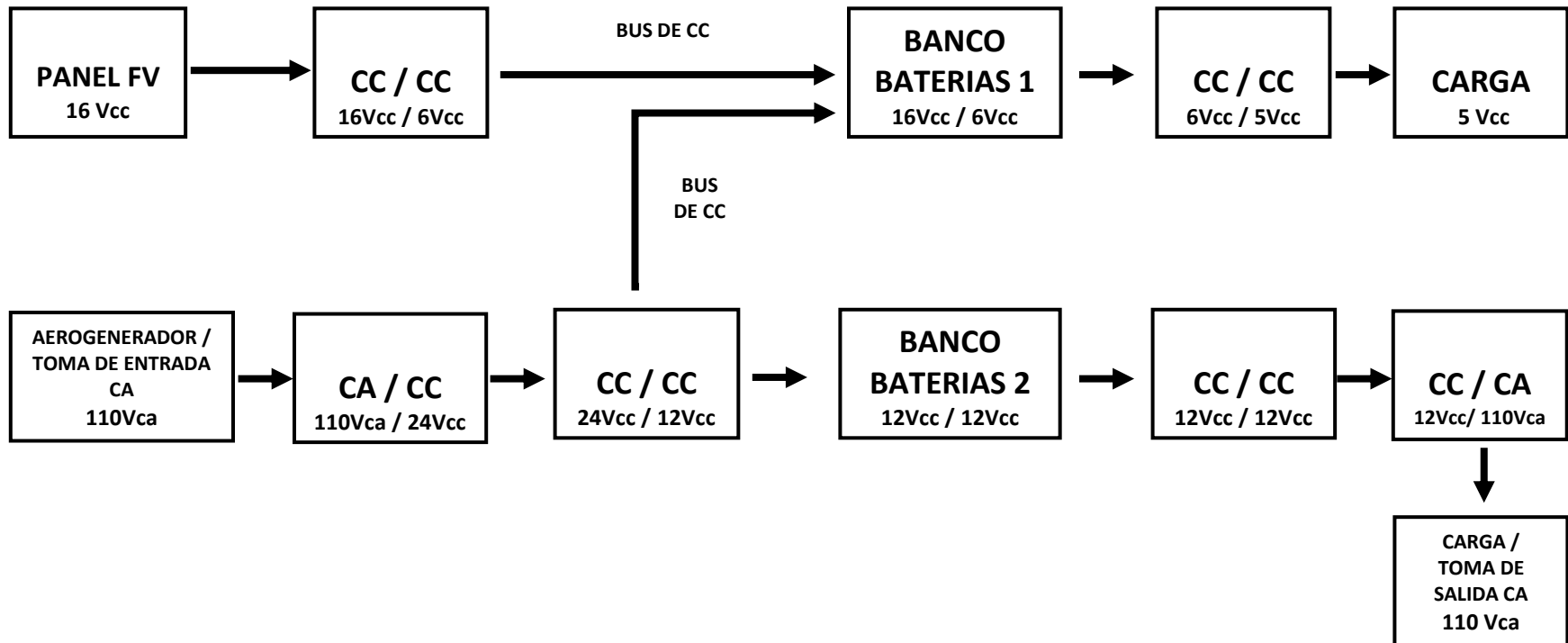


Figura 4.6- Tipología propuesta con bus de CC y dos bancos de baterías independientes para la carga. Desarrollo propio.

## Descripción del dispositivo regulador

Alimentación, se lleva a cabo por medio de un sistema principal de generación de energía eléctrica de CC, mediante fotoceldas y uno secundario que puede ser un sistema de generación de energía alterna por aerogenerador sin etapa de rectificación para minimizar las pérdidas por rizado. Si la opción del aerogenerador no es viable por el costo se encuentra disponible la opción de poder interconectarse a otro sistema de GEEMTA, de mayor potencia por medio de una microred, dentro de la misma zona marginada.

Mediante la alimentación por fotocelda se prioriza el suministro de energía eléctrica mediante un bus de CC, para el banco de baterías (de hasta 24 VCC) que presta el servicio a las cargas de CC (luz LED, celulares, laptops, tablets, pantallas de TV, entre otras que se alimentan de manera directa en CC), por considerarse prioritarias en las necesidades actuales de comunicación, gestión laboral y convivencia de una familia. La carga de las baterías es gestionada y supervisada por un Buck converter con un monitor de parámetros integrado, que permite la rápida visualización del estado de carga del banco (de hasta 24 VCC) y la optimización del proceso de carga al evitar las fluctuaciones de la energía suministrada por la fotocelda.

La carga de CC es alimentada de manera directa por el banco de baterías (de hasta 24 VCC) la cual está limitada a la capacidad en A/h que puede suministrar el banco y supervisada por un Buck converter por medio de un monitor de parámetros. La monitorización del estado de carga y descarga del banco de baterías (de hasta 24 VCC) en tiempo real brinda el beneficio, de priorizar la organización de atención a la demanda y urgencia de los dispositivos eléctricos de CC por orden de prioridad. Ya que se ha identificado que los dispositivos personales y de iluminación y entretenimiento en su mayoría trabajan con valores de voltaje entre 5 y 24 VCC.

El sistema alterno de generación (aerogenerador de CA) o suministro (interconexión en microred) de energía eléctrica en CA, se dirige a la carga de un banco de baterías (de hasta 48 VCC), para alimentar cargas de CA, mediante un inversor. La carga de 110 VCA se ha planteado como secundaria y dedicada a satisfacer solo las necesidades eventuales de una

familia como el acondicionamiento del ambiente (salud), la preservación de alimentos (alimentación) o el bombeo de agua, pero nunca en condiciones operativas permanentes.

Siendo eventual el uso del banco de baterías (de hasta 48 VCC) este permanecerá sin demanda de carga. Por lo tanto, mediante un Bus de CC se puede dirigir la carga generada o suministrada por la alimentación secundaria a la carga del banco de baterías (de hasta 24 VCC) y mantener un suministro eléctrico de CC con mayor tiempo de descarga.

Los valores de voltaje de los bancos de baterías se han considerado pertinentes de acuerdo con los valores nominales de demanda de la carga de CC (19 VC) y demanda de la carga en CA (110 VCA). Para minimizar las pérdidas ocasionadas por pasar de un rango alto a un rango bajo de voltaje, así como también el proceso inverso.

## Capítulo V.- Resultados

## Configuración y modelado en Simulink del comportamiento del dispositivo regulador de carga mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA

Estos se subdividen en dos apartados el teórico mediante un modelo de Simulink y el práctico mediante la interconexión de los componentes didácticos en este caso experimental. Posteriormente con la información obtenida esta se reflexionará en el apartado de discusión

### Resultados del desarrollo teórico

El modelo utilizado se dividió en dos etapas, la primera es la carga del banco de baterías y la segunda la descarga de este. En la primera etapa se sustituyó el panel solar por una alimentación constante de 16V DC, la cual alimenta un convertidor tipo Buck que se detalla más adelante, este convertidor tiene la función de regular el voltaje a 6V constantes sin importar la variación en el voltaje proporcionado por el Panel Fotovoltaico, para así, cargar el banco de baterías de 6V a 2Ah.

La alimentación del aerogenerador o la entrada AC de 110 se puede ver en la parte inferior en la Figura... dicha corriente de AC es convertida a CC mediante un convertidor tipo CA-CC cuya salida es fija a 24VCC, posteriormente estos 24VCC se reducen a 12VCC constantes por medio de un convertidor tipo Buck o Step-Down para así, cargar el banco de baterías de 12V a 2Ah.

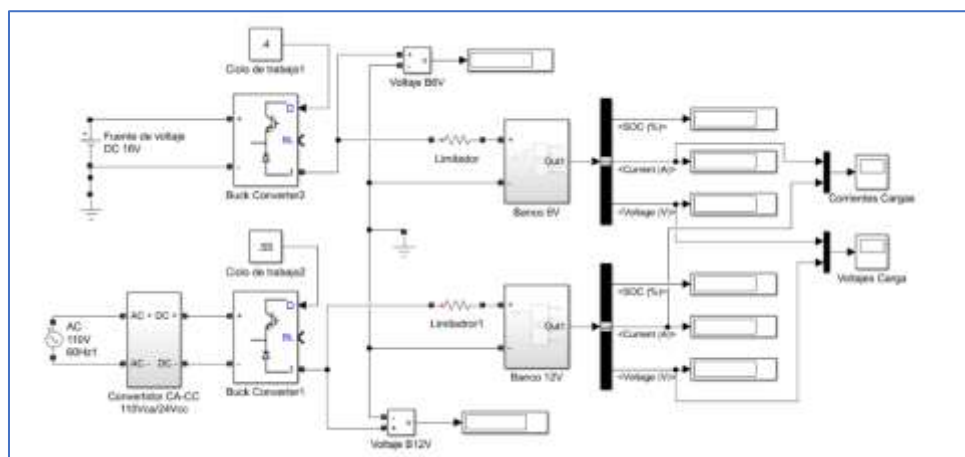
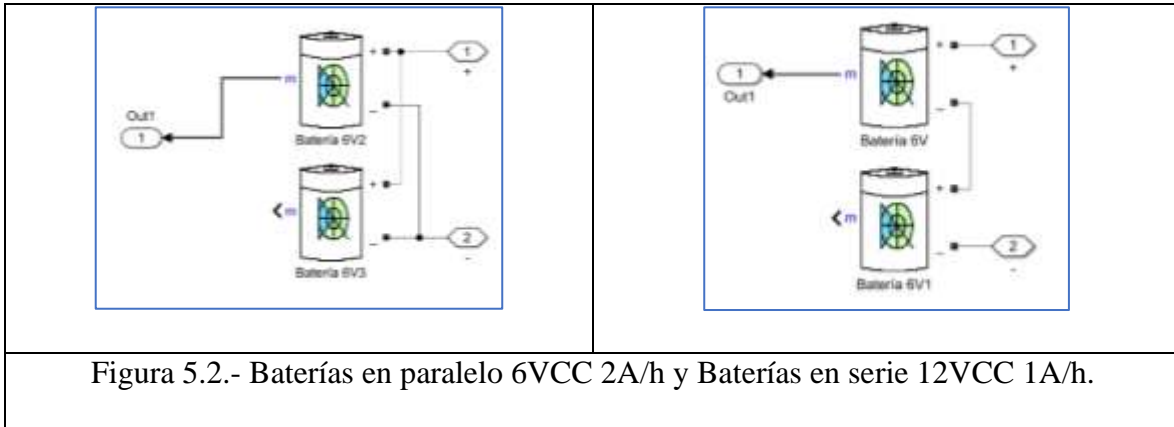


Figura 5.1.- Modelo del sistema de carga para bancos de baterías de 6V y 12V.

Los bancos de baterías están conformados por dos baterías de 6V a 1Ah en diferentes configuraciones, para el banco denominado “Banco 6VCC” se encuentran configuradas en paralelo y para el denominado “Banco 12VCC” se encuentran configuradas en serie.



El convertidor Buck-Boost es un convertidor CC a CC que puede funcionar tanto como un convertidor tipo Buck como uno tipo Boost. A su salida presenta un voltaje constante sin importar el voltaje que exista en su entrada (dentro de sus valores de operación).

Para efectos de la simulación en Simulink, el bloque usado para el Buck-Boost, fue un módulo Buck, para mantener el voltaje de salida constante y que la simulación se ejecutara de forma óptima.

Los convertidores tipo Buck en esta etapa de la simulación se configuraron con un ciclo de trabajo fijo de 45% y de 55% con lo que proporcionan un voltaje de 7.2V y 13.2V con el que se obtiene una corriente estable de entre 0.06A y 0.1A para cargar los bancos de baterías.

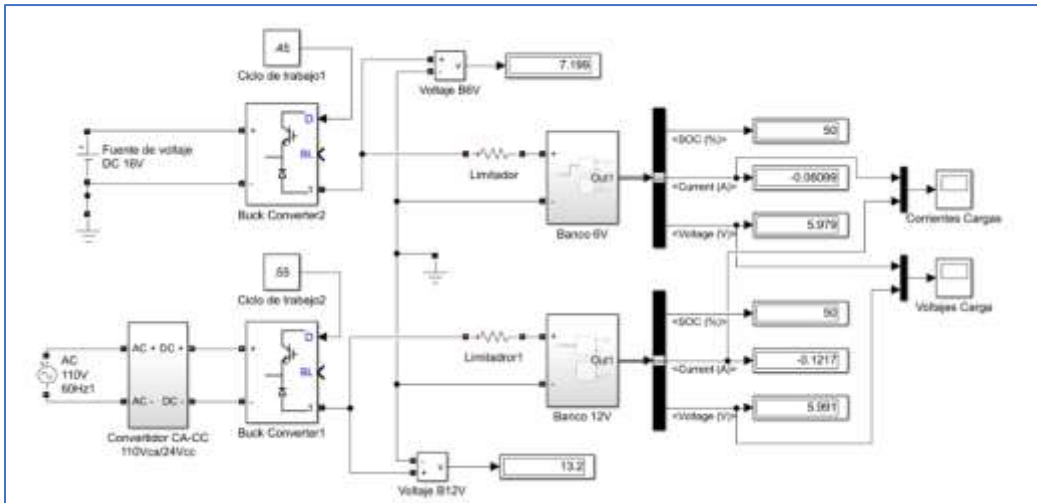


Figura 5.3.- Modelo del sistema de carga para bancos de baterías de 6V y 12V. Se pueden notar los voltajes proporcionados por los convertidores, así como la corriente entregada a cada banco.

El ciclo de trabajo no siempre es fijo, en los sistemas industriales se controla mediante un algoritmo de Maximum Power Point tracking (MPPT), el cual garantiza que el Panel Solar trabaje siempre con máxima eficiencia, este sistema hace un censado tanto del voltaje como de la corriente para realizar los ajustes necesarios en el convertidor Boost-Buck y así siempre mantener una corriente de carga estable sin importar la irradiación o la temperatura del panel.

En el presente trabajo los métodos de control son considerados como un trabajo de futuro desarrollo e implementación.

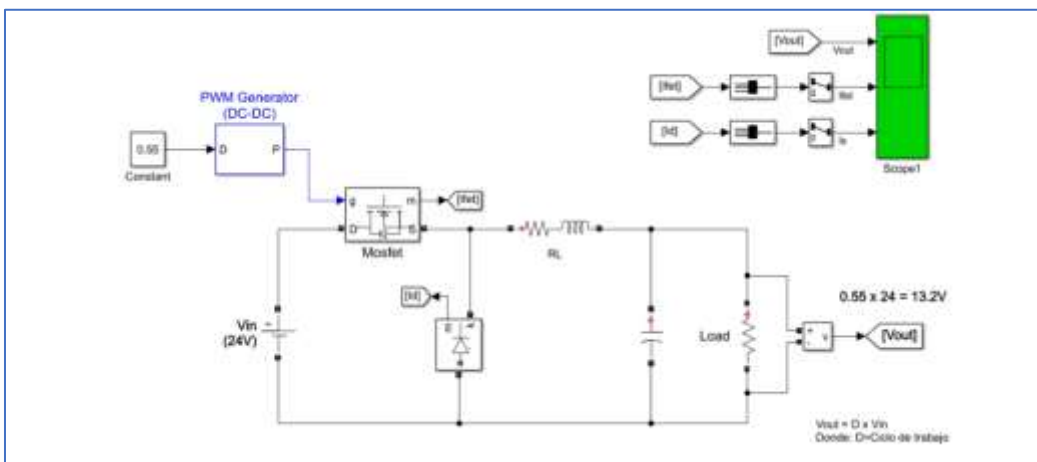


Figura 5.4.- Modelo Convertidor Buck1 que proporciona una salida de 13.2V

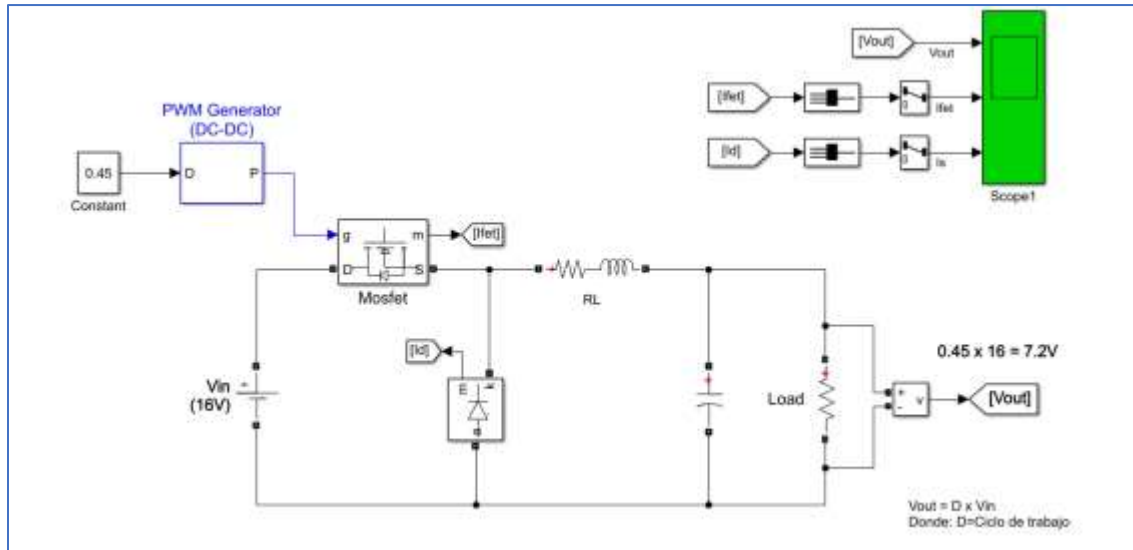


Figura 5.5.- Modelo Convertidor Buck2 que proporciona una salida de 7.2V

La respuesta de ambos sistemas se puede observar en las siguientes gráficas

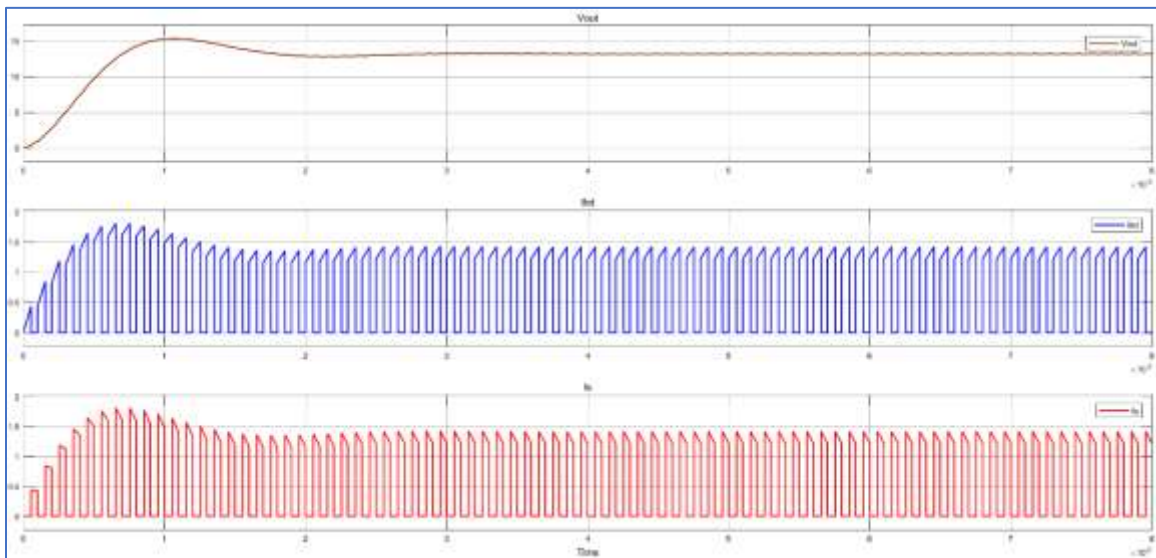


Figura 5.6.- Respuesta Convertidor Buck1 que proporciona una salida de 13.2V

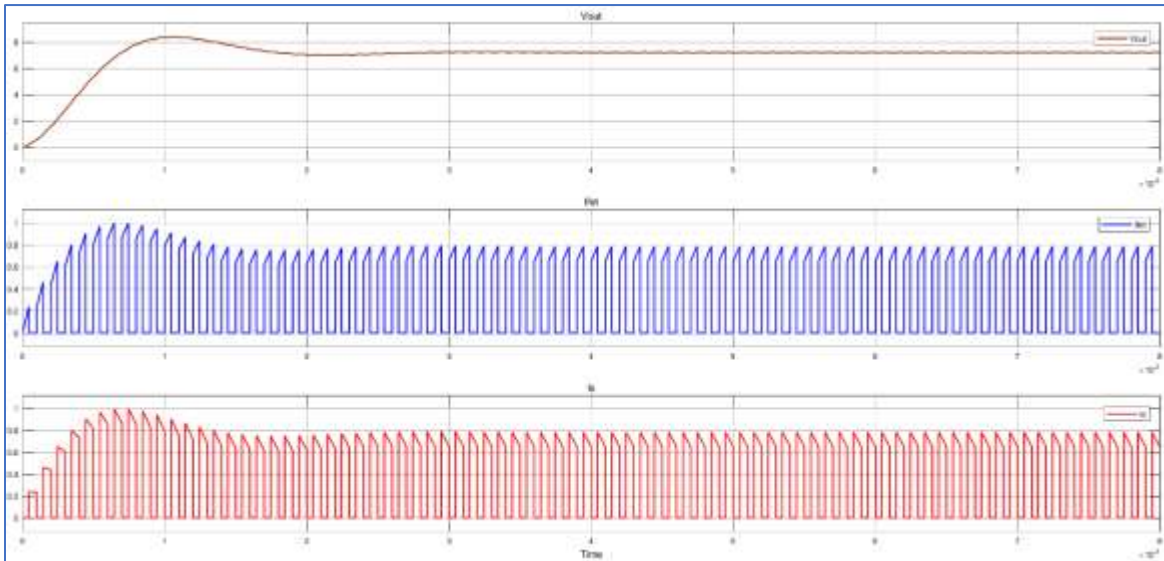


Figura 5.7.- Respuesta Convertidor Buck2 que proporciona una salida de 7.2V

Para la etapa de consumo o descarga, se utilizaron dos convertidores, un tipo Boost que entrega 110V a su salida alimentado por el banco de 12V y otro tipo Buck que entrega 5V alimentado por el banco de 6V.

Cabe señalar que en la etapa de descarga del banco de baterías de 12V se omitió en la simulación el módulo de convertidor tipo Boost-Buck el cual tiene la función de estabilizador de voltaje a 12V con un factor de conversión 1:1 que luego alimenta el módulo Inversor-Boost de 12VCC a 110VCA/VCC el cuál proporciona la salida para alimentar las cargas de corriente alterna, es su lugar se alimenta directamente el módulo Inversor-Boost con el banco de baterías de 12V, lo anterior fue realizado para optimizar la simulación de Simulink.

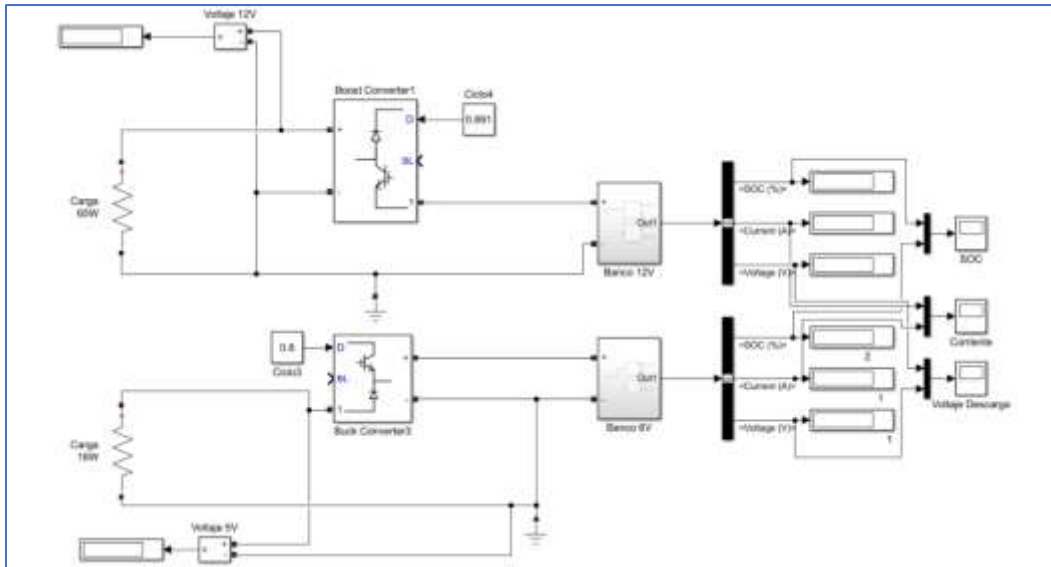


Figura 5.8.- Modelo del sistema de descarga de los bancos de baterías de 6V y 12V.

En este caso los convertidores se configuraron tomando en cuenta la carga que se debía manejar, para el caso del banco de 6V con convertidor tipo Buck que entrega 5V a su salida, se utilizó una carga de 18W la cuál simula de 2 cargadores de celular y 2 baterías de emergencia de 1650 mAh, con esto en mente, el ciclo de trabajo usado fue de 80%, lo que nos garantizó los 5V a 5A, que es consistente con la carga común de celular de 5V a 0.75A.

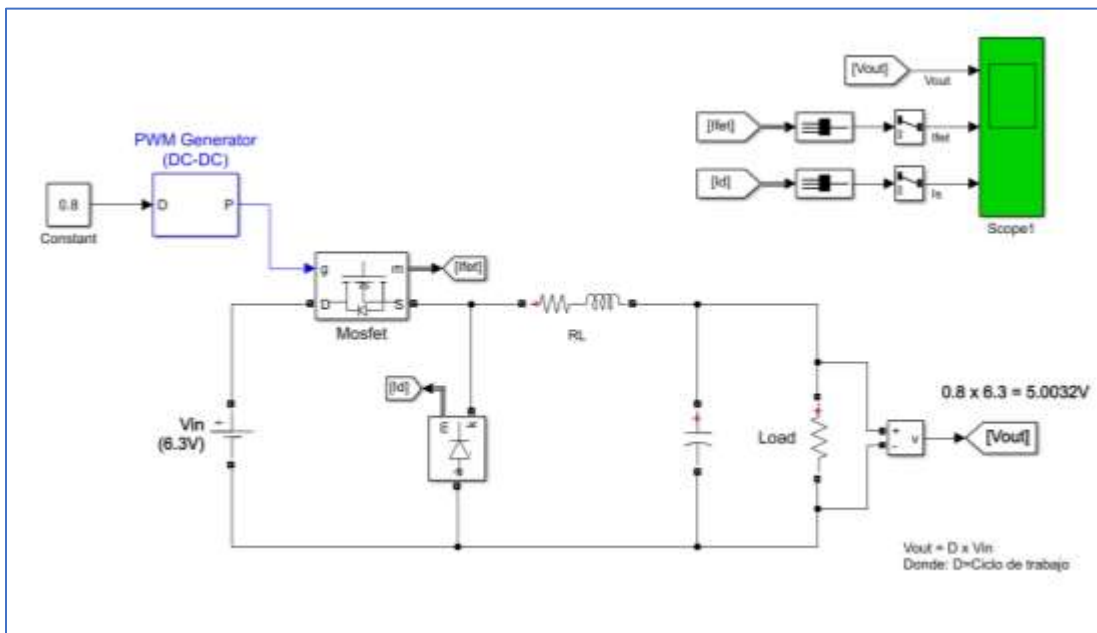


Figura 5.9.- Modelo Convertidor Buck3 que proporciona una salida de 5V

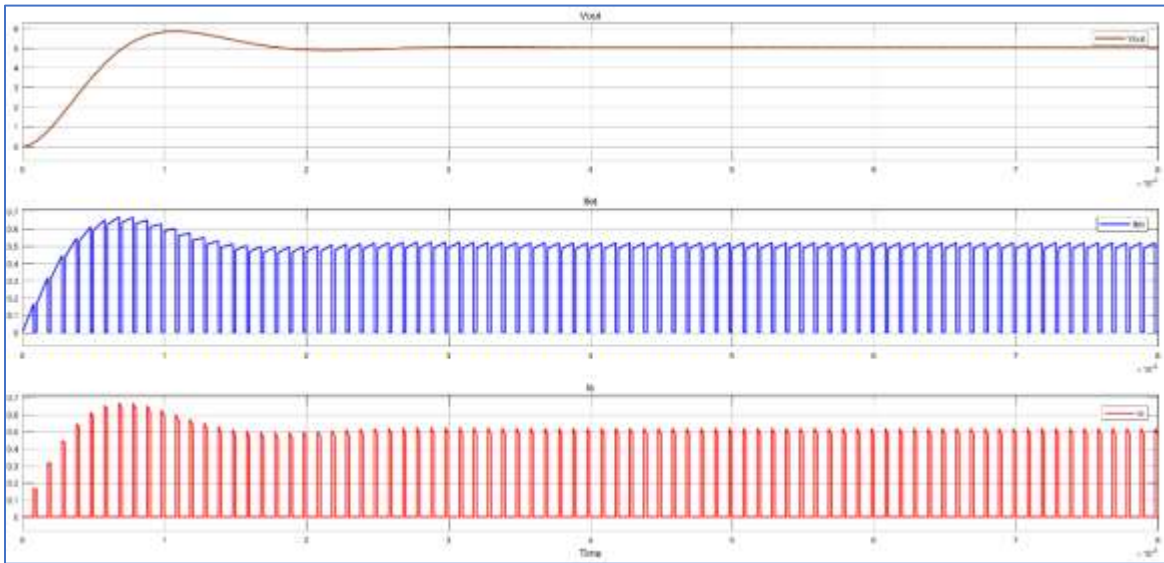


Figura 5.10.- Respuesta Convertidor Buck3 que proporciona una salida de 5V

Para el caso del banco de 12 con convertidor tipo Boost, se utilizó una carga de 65W que es consistente con un foco incandescente para iluminar una habitación. El ciclo de trabajo se fijó en 89.1% para así entregar 110.09V.

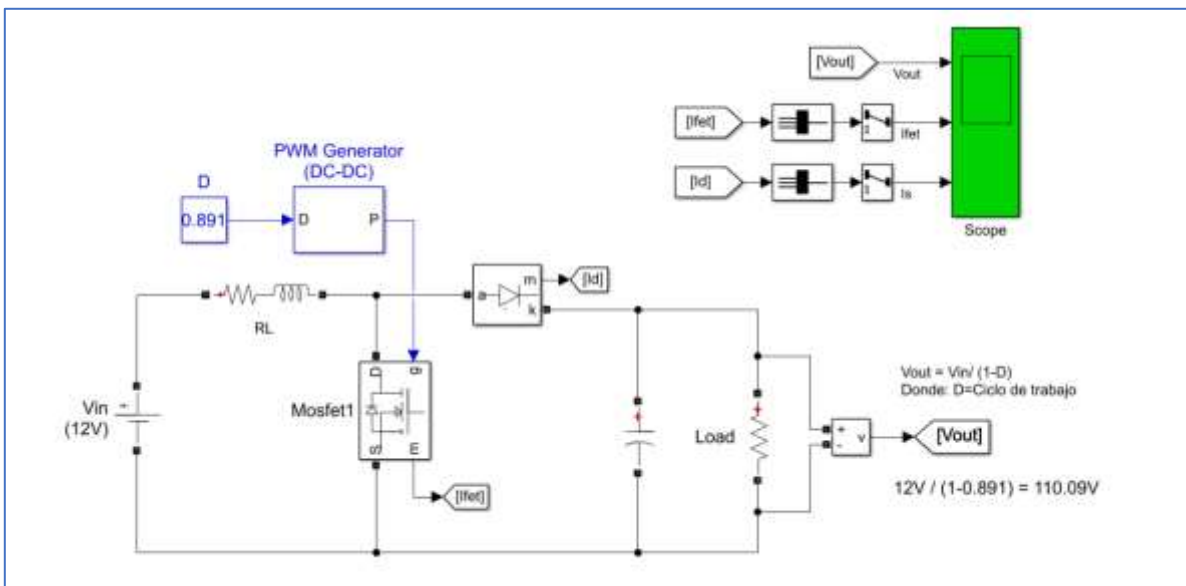


Figura 5.11.- Modelo Convertidor Boost1 que proporciona una salida de 110V

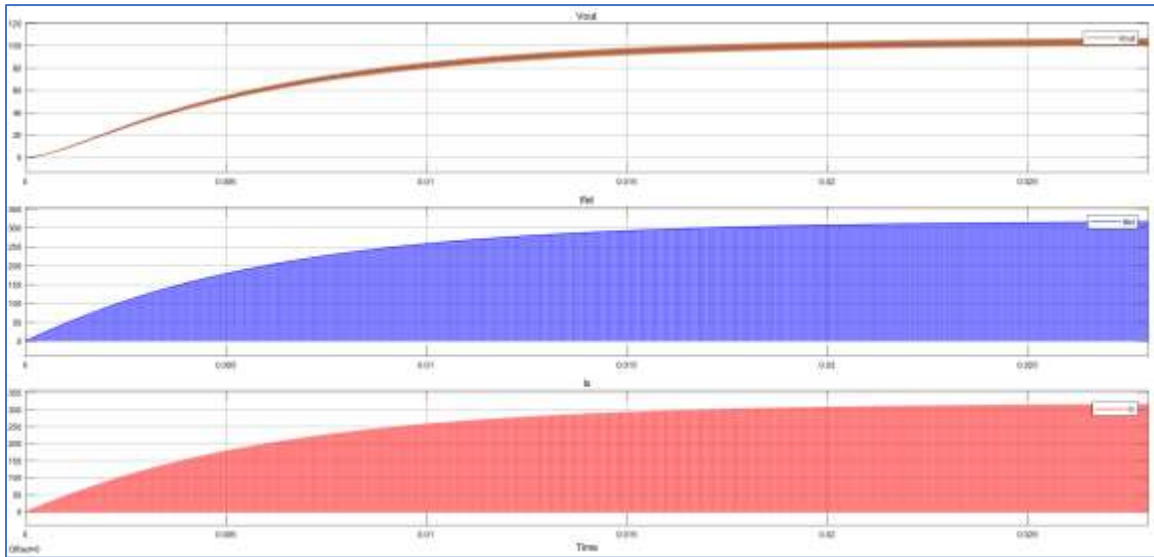


Figura 5.12.- Respuesta Convertidor Boost1 que proporciona una salida de 110V

**Simulación virtual en los tres escenarios propuestos.**

Los bancos de baterías, en la simulación, se cargan protegidos por un limitador de corriente, en este caso se utilizó un resistor de potencia 10Ω.

Las gráficas de carga de los bancos de baterías durante un tiempo establecido de 5 y 20 minutos con un estado de carga (SOC) inicial del 50% se pueden ver a continuación.

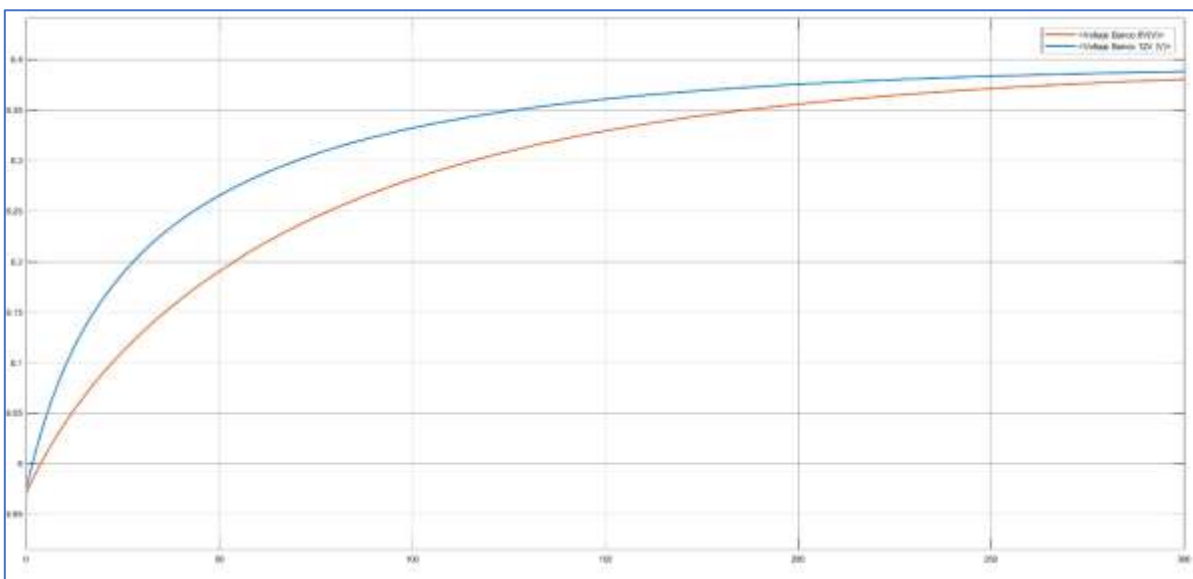


Figura 5.13.- Curva de voltaje durante la carga de los bancos de baterías por 5 minutos

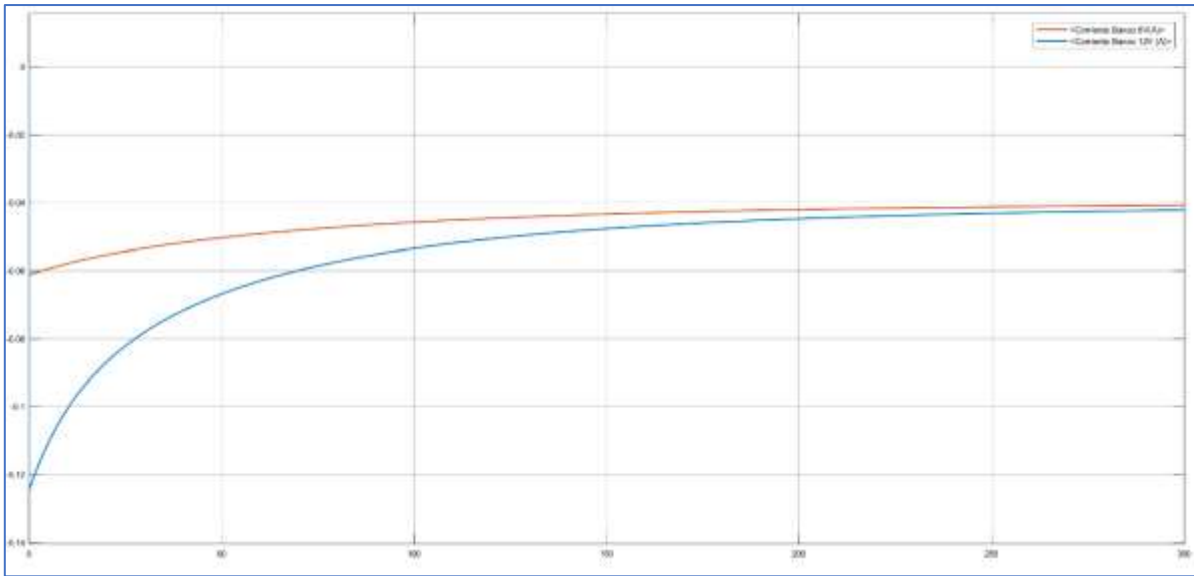


Figura 5.14.- Curva de corriente durante la carga de los bancos de baterías por 5 minutos

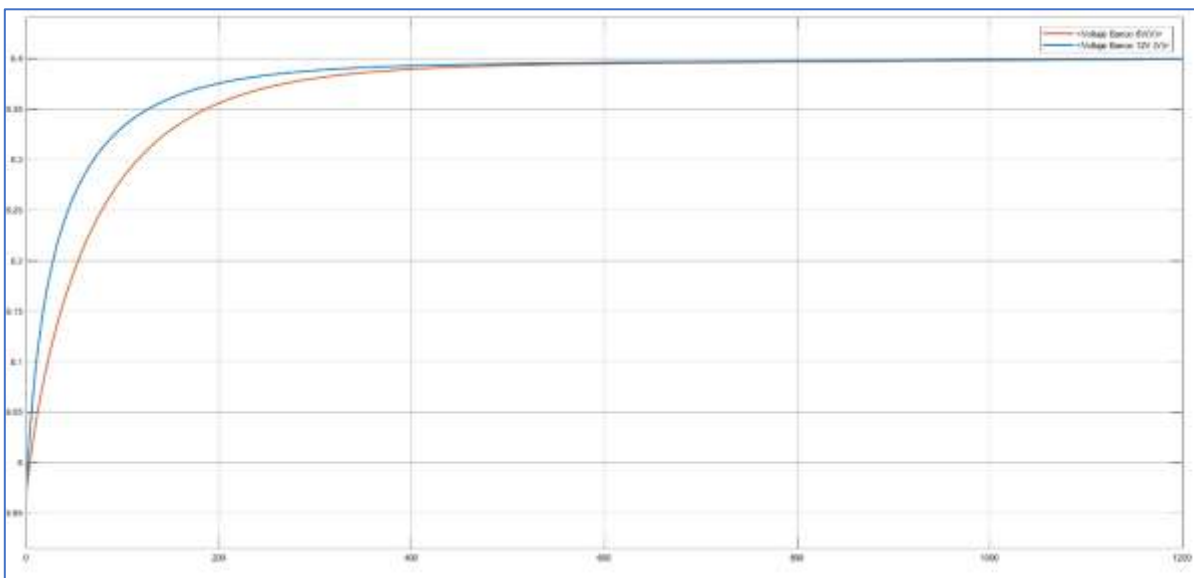


Figura 5.15.- Curva de voltaje durante la carga de los bancos de baterías por 20 minutos

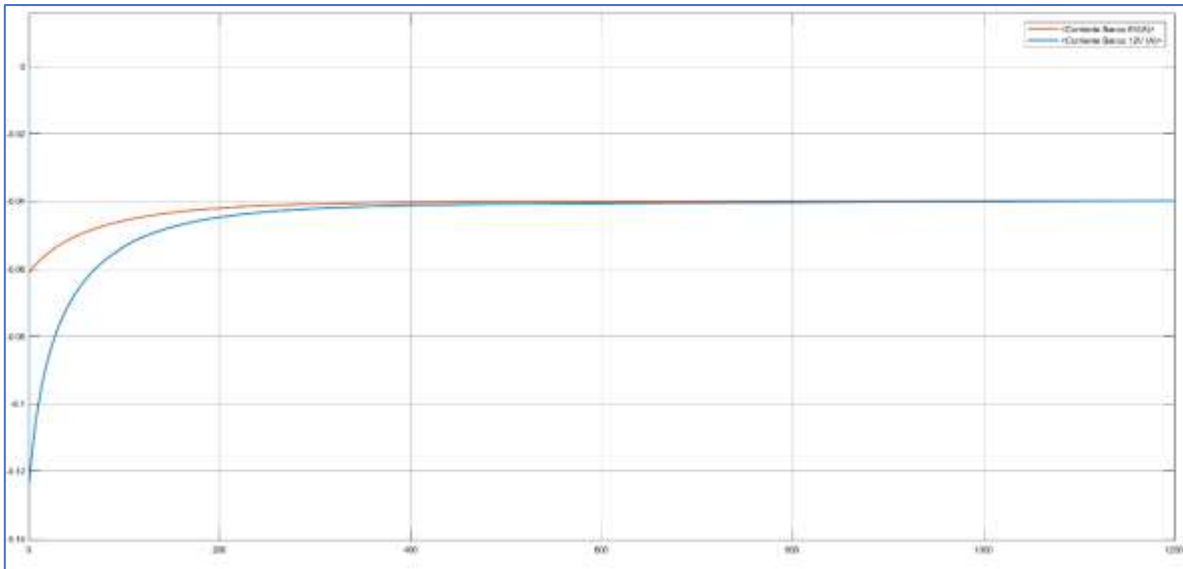


Figura 5.16 Curva de corriente durante la carga de los bancos de baterías por 20 minutos

Finalmente, las curvas de voltaje de descarga de los bancos de baterías con cargas de 9W, 18W y 22.5W para el banco de 6V y de 32.5W, 65W y 81.25W para el banco de 12V durante un tiempo establecido de 5 minutos se muestran a continuación, así como la curva de descarga ideal proporcionada por el fabricante.

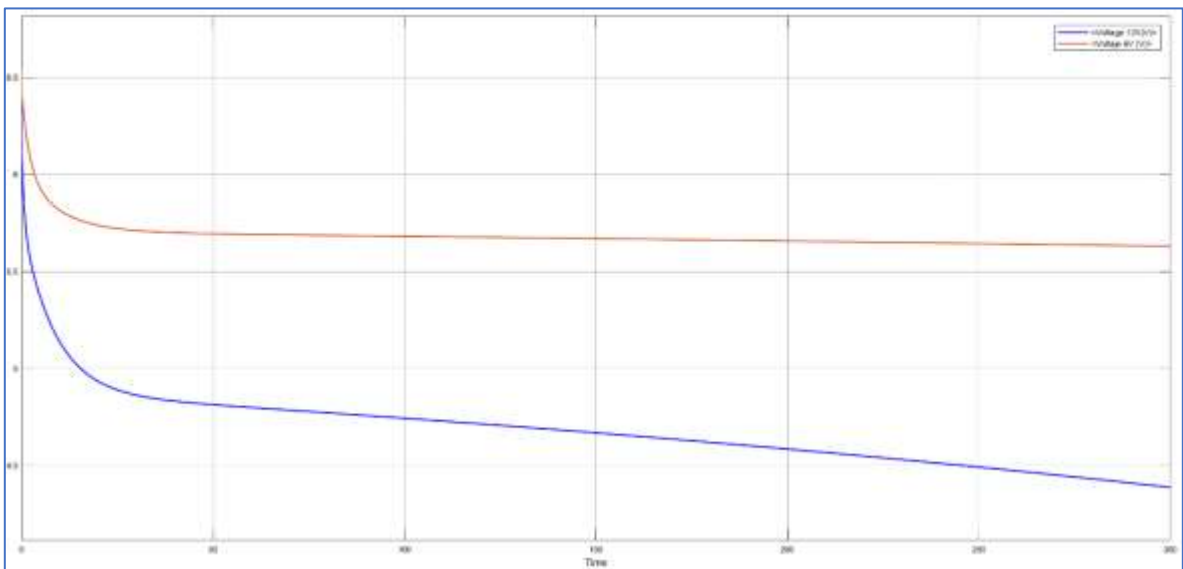


Figura 5.17.- Curva de voltaje en descarga para ambos bancos de baterías durante 5 minutos, carga de 18W y 65W (Carga nominal).

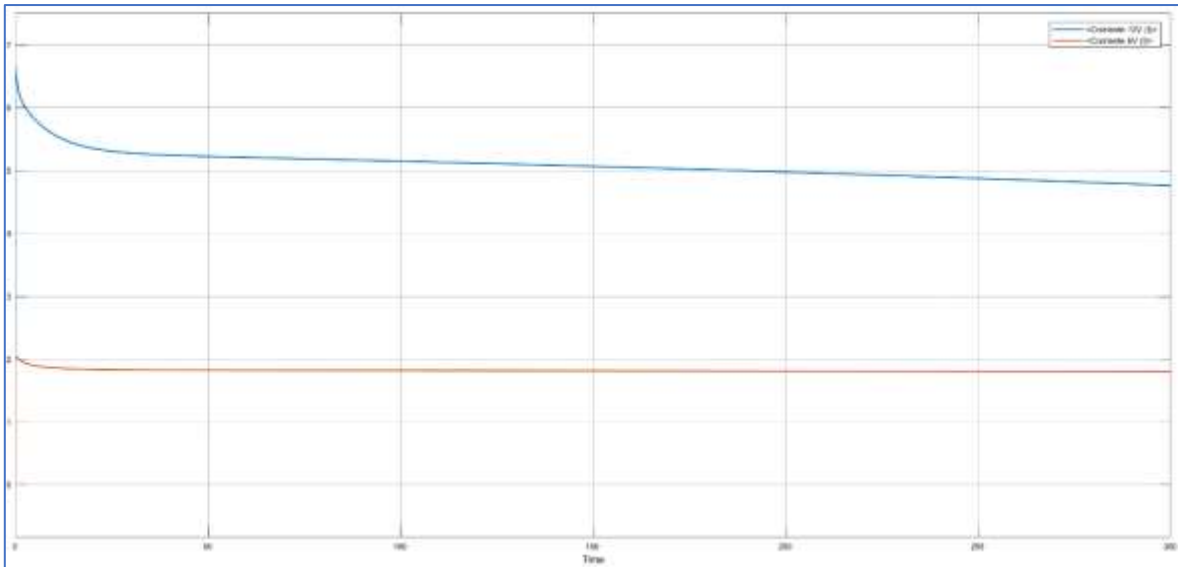


Figura 5.18.- Curva de corriente durante la descarga de los bancos de baterías por 5 minutos carga de 18W y 65W (Carga nominal).

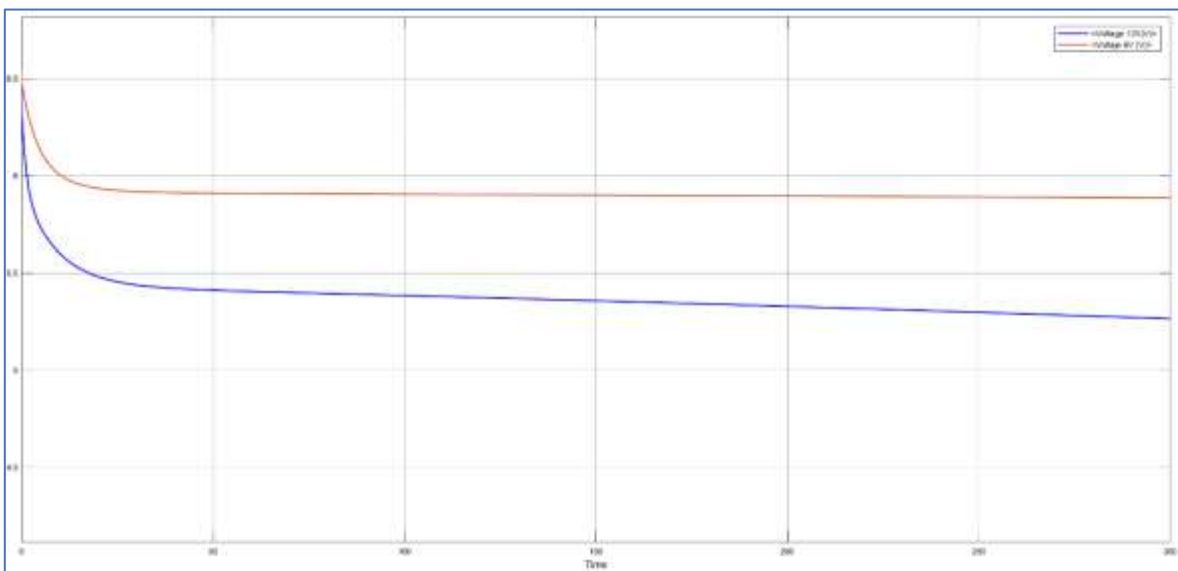


Figura 5.19.- Curva de voltaje en descarga para ambos bancos de baterías durante 5 minutos, carga de 9W y 32.5W (Media carga).

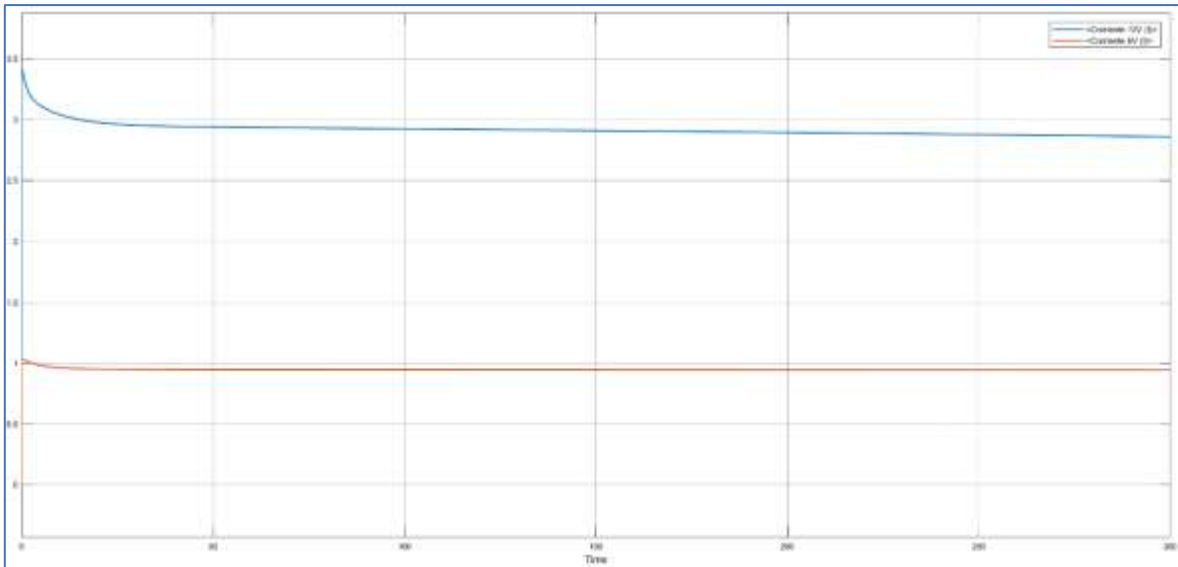


Figura 5.20.- Curva de corriente durante la descarga de los bancos de baterías por 5 minutos carga de 9W y 32.5W (Media carga).

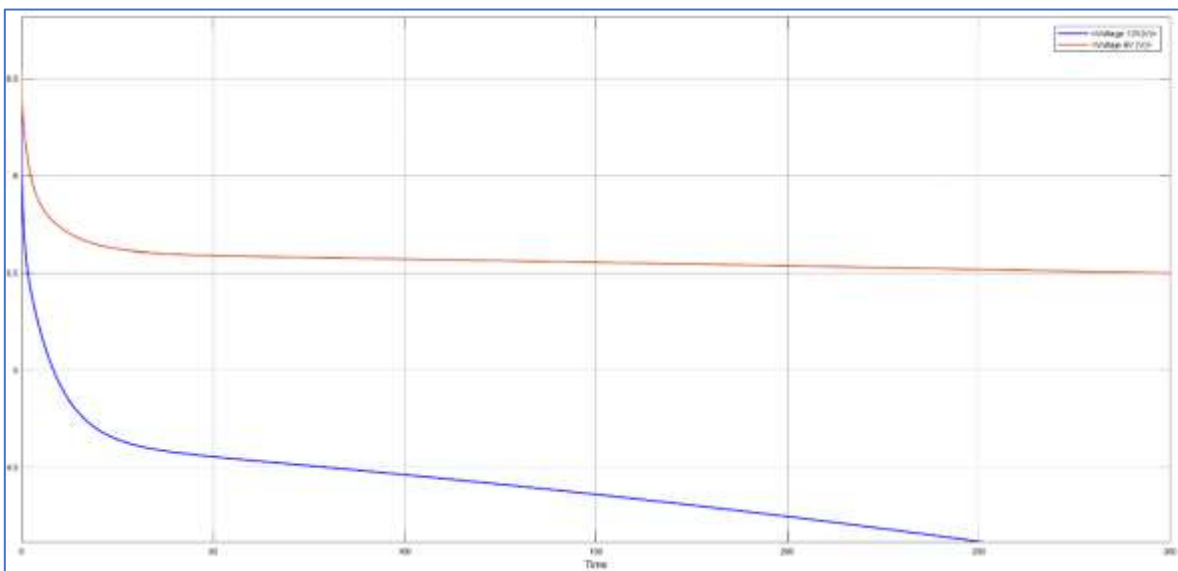


Figura 5.21.- Curva de voltaje en descarga para ambos bancos de baterías durante 5 minutos, carga de 22.5W y 81.25W (Sobre carga).

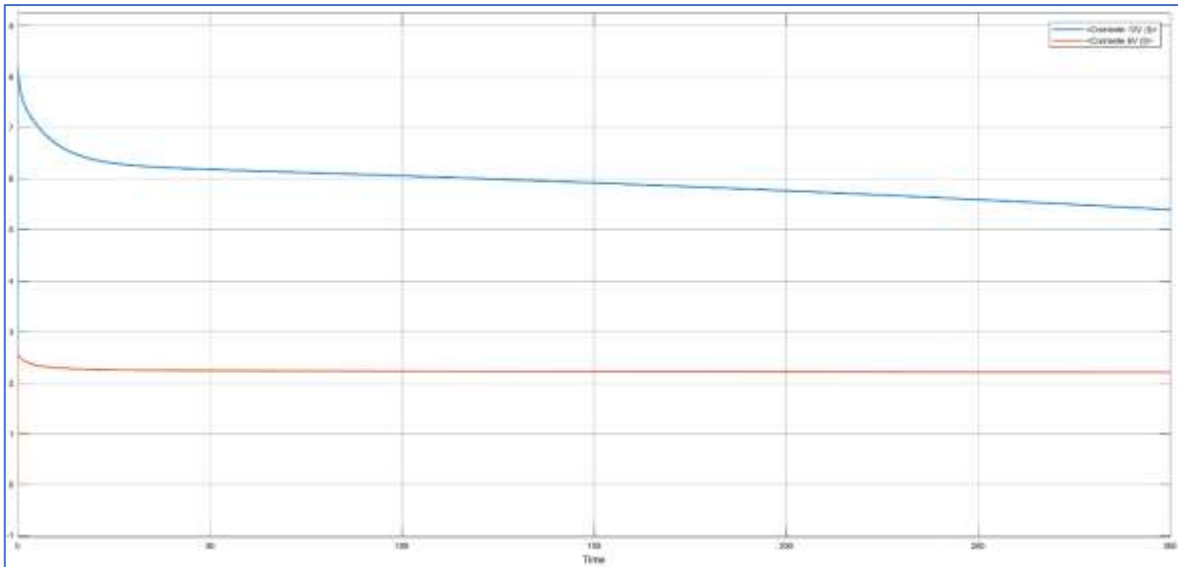


Figura 5.22.- Curva de corriente durante la descarga de los bancos de baterías por 5 minutos carga de 22.5W y 81.25W (Sobre carga).

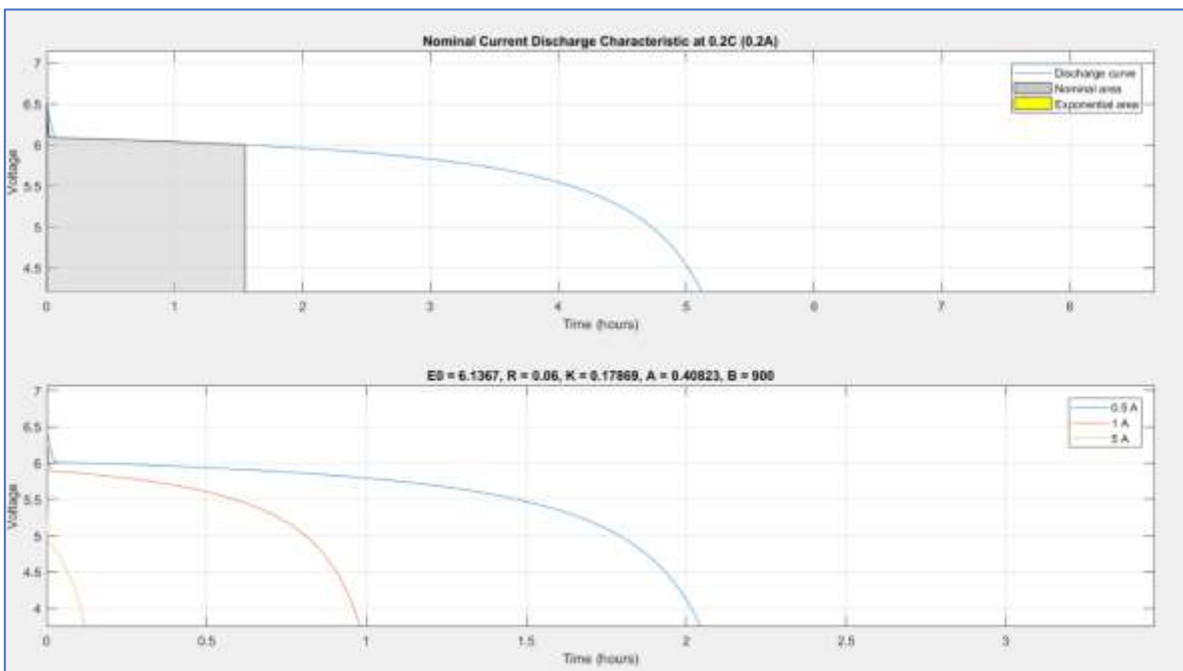


Figura 5.23.- Curvas del fabricante de descarga (arriba). Curvas ideales de descarga bajo diferentes consumos (abajo).

## Toma de datos de la medición virtual y captura de datos en la tabla comparativa

Para llevar a cabo la medición virtual, se hizo uso del propio sistema de monitoreo del bloque de batería de Simulink, el cuál es un bus de señales de las que se pueden obtener los datos más relevantes como voltaje, corriente, estado de carga (SOC) etc. que pueden ser desplegados en un display simple o en un bloque scope. Las gráficas del apartado anterior se observan los resultados del monitoreo de voltaje contra tiempo para cada escenario propuesto. Adicionalmente, se puede ver en la Figura--- Un ejemplo de la lectura tomada por el propio bloque con la que se analizaron los datos y se vaciaron en la posterior tabla.

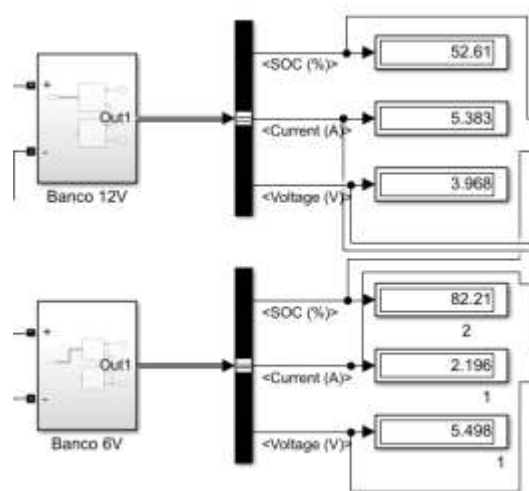


Figura 5.24.- Display de información de las baterías. Descarga a sobrecarga por 5 minutos.

### **Construcción y cableado de la integración del dispositivo regulador de carga mediante convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA para su aplicación en sistemas de GEEMTA**

Para la construcción del dispositivo y la interconexión de los módulos convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA, partimos de la topología propuesta en la Figura... misma en la que se basaron las simulaciones.

Se realizó la conexión de cada uno de los módulos por separado haciendo pruebas con una fuente de voltaje externa para corroborar su correcto funcionamiento. Una vez comprobado cada módulo por separado, se interconectaron de igual forma uno por uno realizando las

respectivas pruebas de interconexión y correcto funcionamiento en cada etapa del dispositivo.

Una vez verificadas las conexiones y el funcionamiento de cada uno de los módulos, se agregaron los bancos de baterías en sus dos configuraciones.

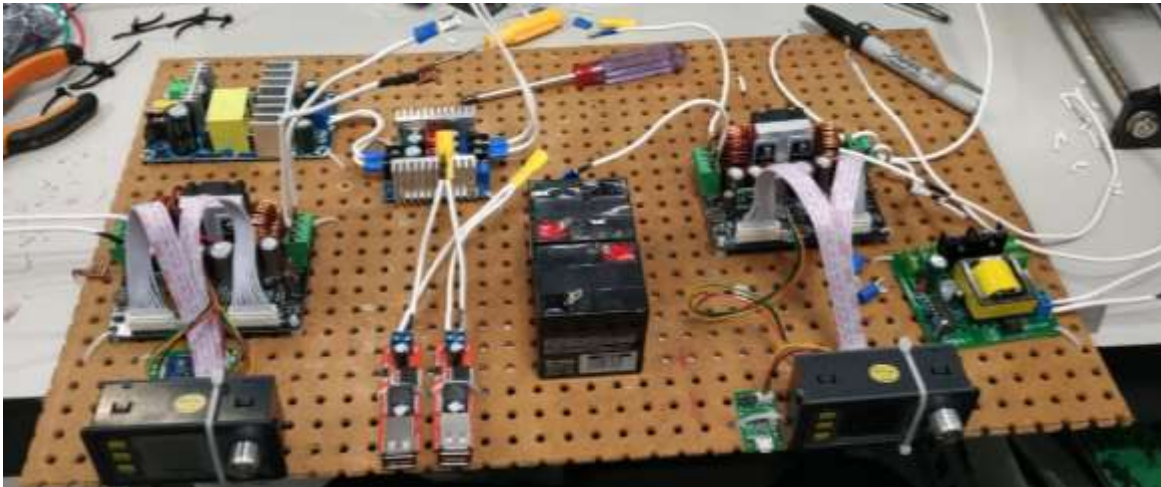


Figura 5.25.- Interconexión de los módulos convertidores CA-CC/CC-CC/CC-CA

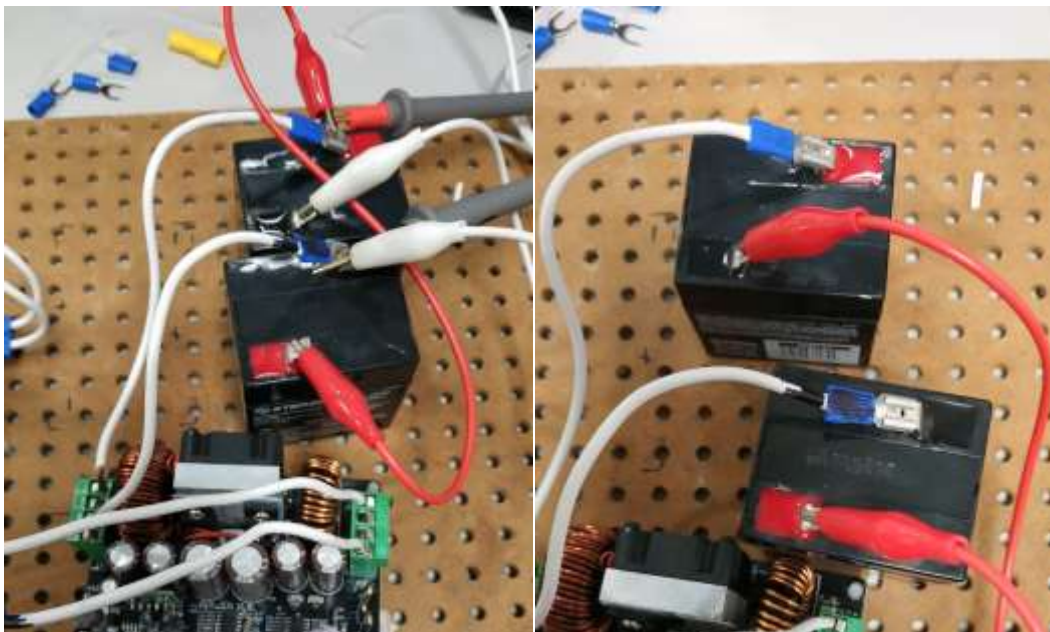


Figura 5.26.- Configuraciones de los bancos de baterías de 6V a 2Ah en paralelo (izquierda) y 12V a 1Ah en serie (derecha)

## Operación controlada del dispositivo en los tres escenarios propuestos

Como se mencionó anteriormente, los módulos Buck-Boost del dispositivo tienen la función de encender o apagar su salida, así como programar el voltaje y la corriente que sea necesario, esto facilitó en gran medida la operación del dispositivo en cada escenario limitando la corriente a ciertos valores con lo cual se pudieron obtener diferentes resultados de acuerdo con la potencia requerida en cada caso.

La interfaz del módulo Buck-Boost adicional al display LCD se puede también controlar vía Bluetooth por medio de un Teléfono celular o mediante conexión USB con un computador, ambos métodos de control fueron usados en las pruebas realizadas.



Figura 5.27.- Interfaz de control del módulo Buck-Boost mediante Bluetooth y teléfono celular, mostrando el escenario de sobre carga



Figura 5.28.- Interfaz de control del módulo Buck-Boost mediante LCD, mostrando el escenario de media carga para el banco de 6V.

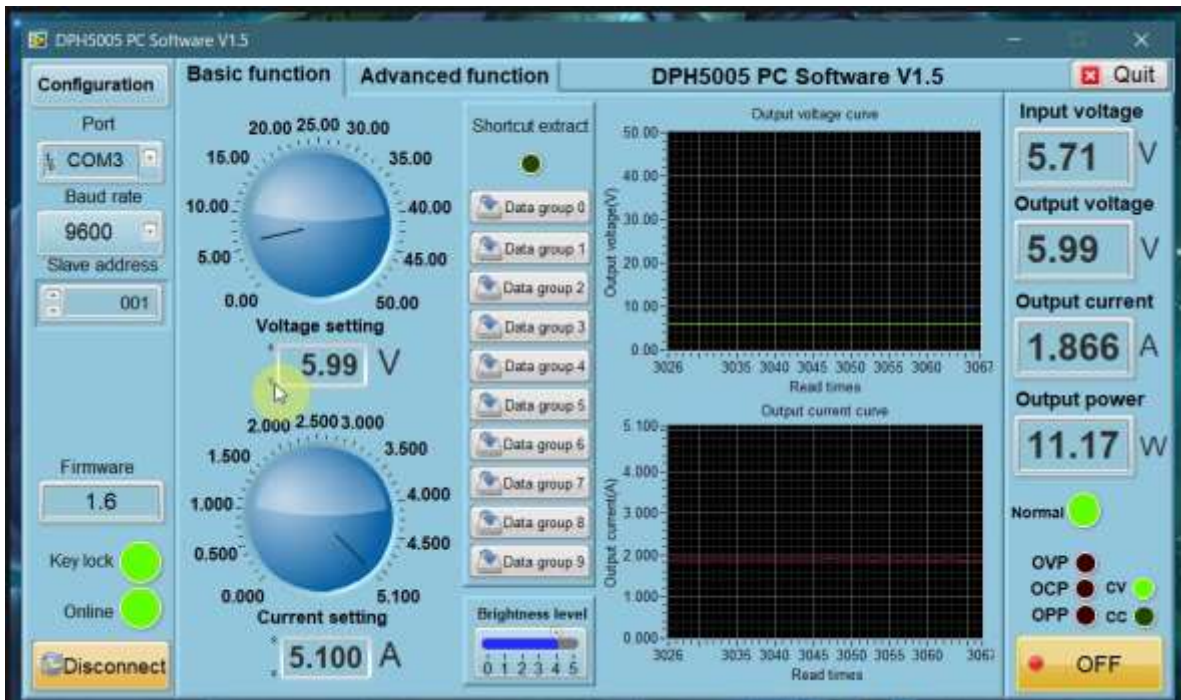


Figura 5.29.- Interfaz de control del módulo Buck-Boost mediante USB, mostrando el escenario de carga nominal para el banco de 6V.



Figura 5.30.- Conexión de la carga en el módulo Buck de USB para el banco de 6V

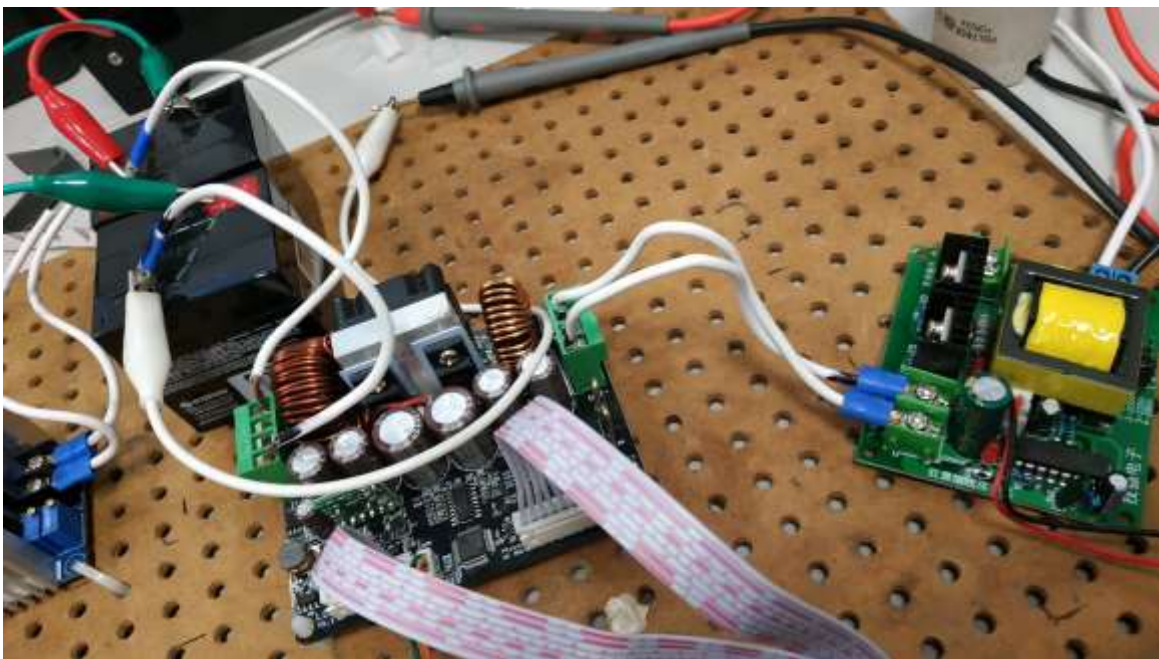


Figura 5.31.- Conexión del módulo Buck-Boost y módulo inversor para la descarga del banco de 12V

## Toma de mediciones y captura de datos en la tabla comparativa

Para realizar las mediciones correspondientes se usaron diferentes medios y herramientas, incluyendo la propia interfaz de control de los módulos Buck-Boost, multímetro digital, y software de captura y edición de video.

Se realizó la prueba de descarga así como la de carga accionando las salidas de los módulos Buck-Boost por medio de la interfaz USB de estos, teniendo la interfaz abierta en primer plano de la computadora, se grabó la pantalla durante todo el transcurso de las pruebas y realizando los tres diferentes escenarios para descarga y el único escenario de carga, siempre verificando las correspondencias de los datos leídos por los módulos y su interfaz con ayuda de un multímetro digital conectado en paralelo con los bancos de baterías y los módulos Buck-Boost.

Posteriormente el video se analizó y se obtuvieron los puntos en los que el voltaje cambió respecto al tiempo de la propia estampa del video, con ello se lograron construir las curvas de carga y descarga correspondientes a los 3 escenarios propuestos.



Figura 5.32.- Multímetro digital utilizado para verificar los datos del módulo Buck-Boost.

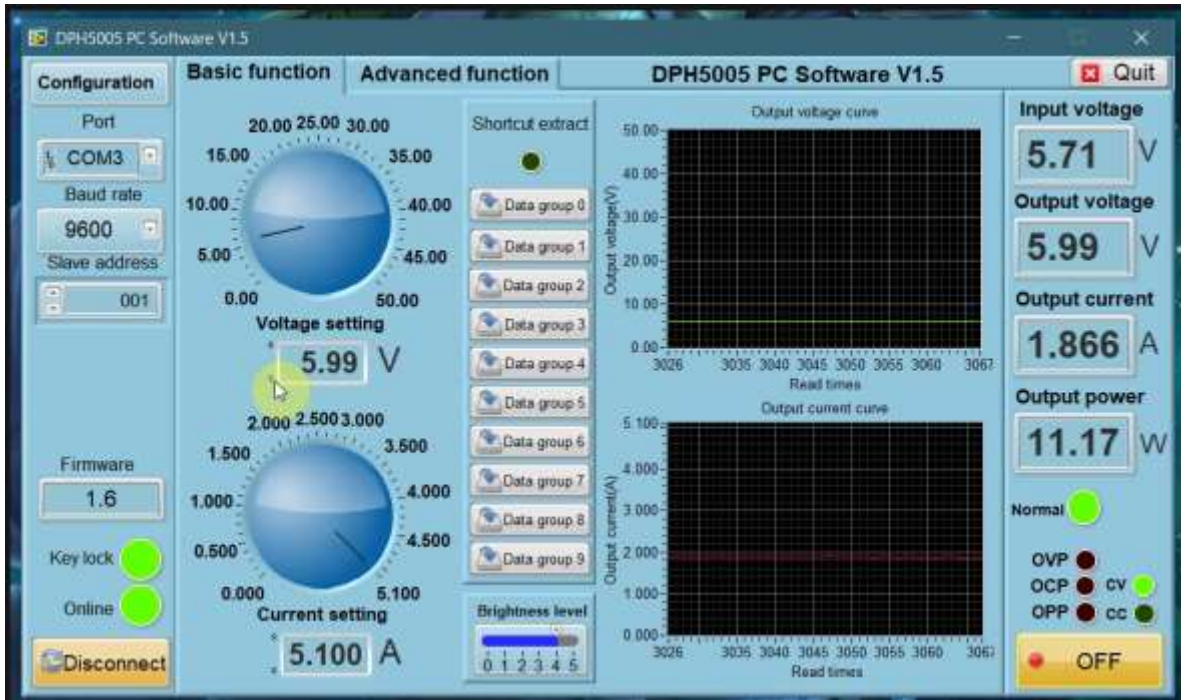


Figura 5.33.- Interfaz de control del módulo Buck-Boost mediante USB, con los datos mostrados en pantalla se construyeron las curvas de carga y descarga de los tres escenarios propuestos

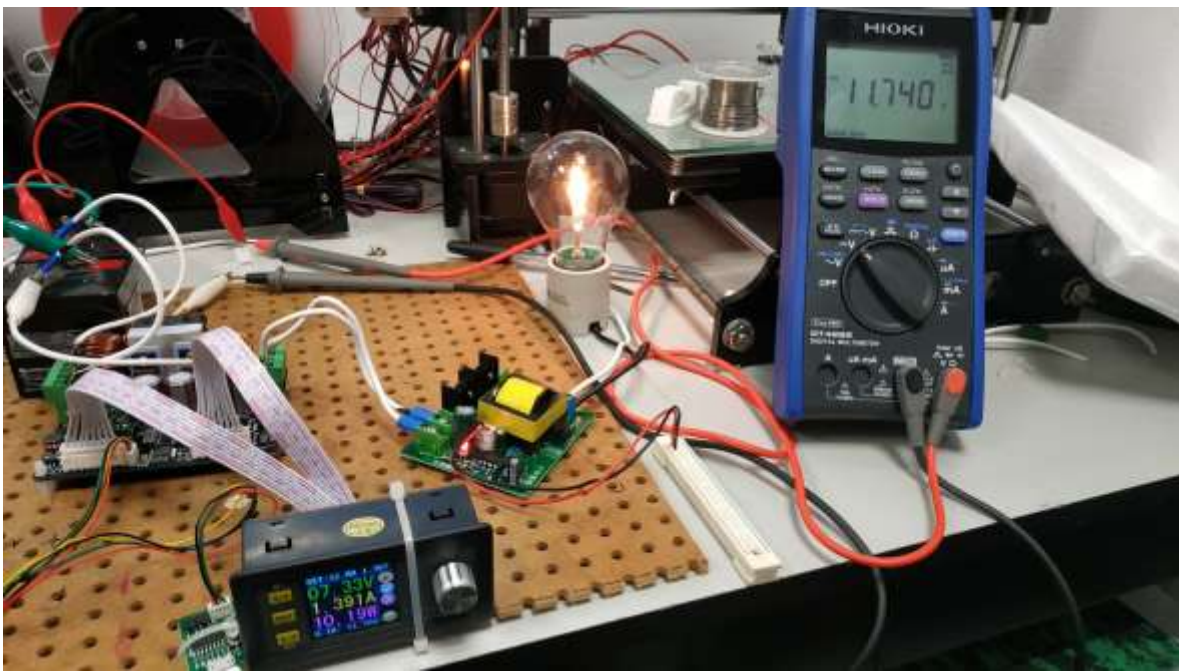


Figura 5.34.- Mediciones de descarga del banco de 12V

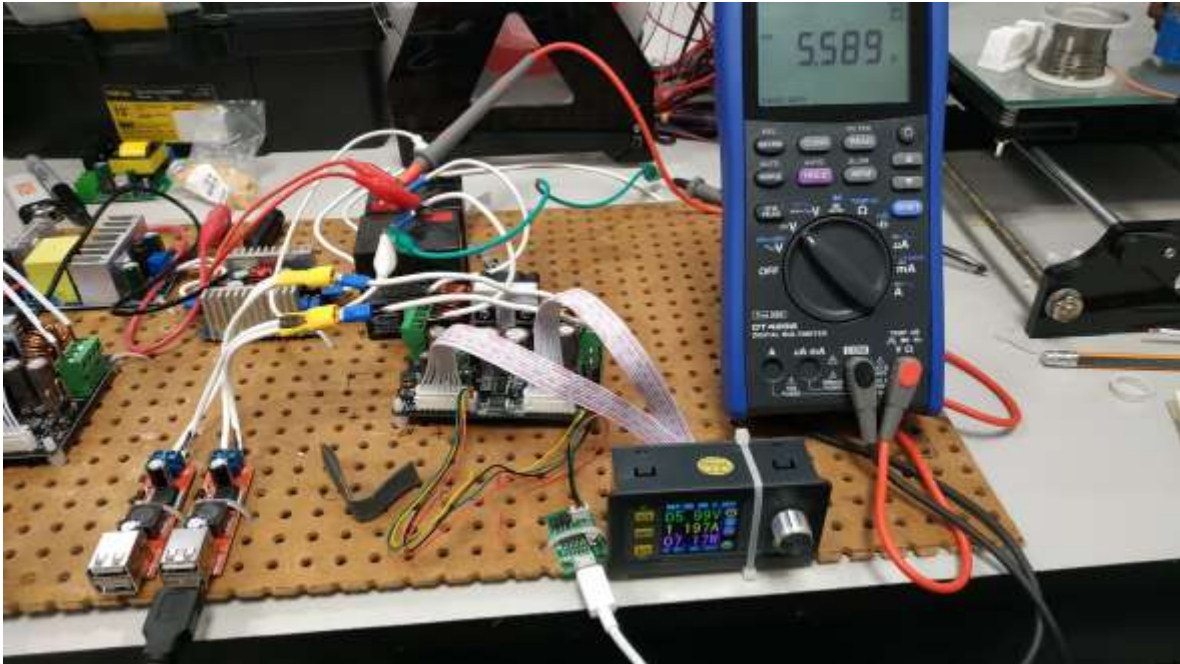


Figura 5.35.- Mediciones de descarga del banco de 6V

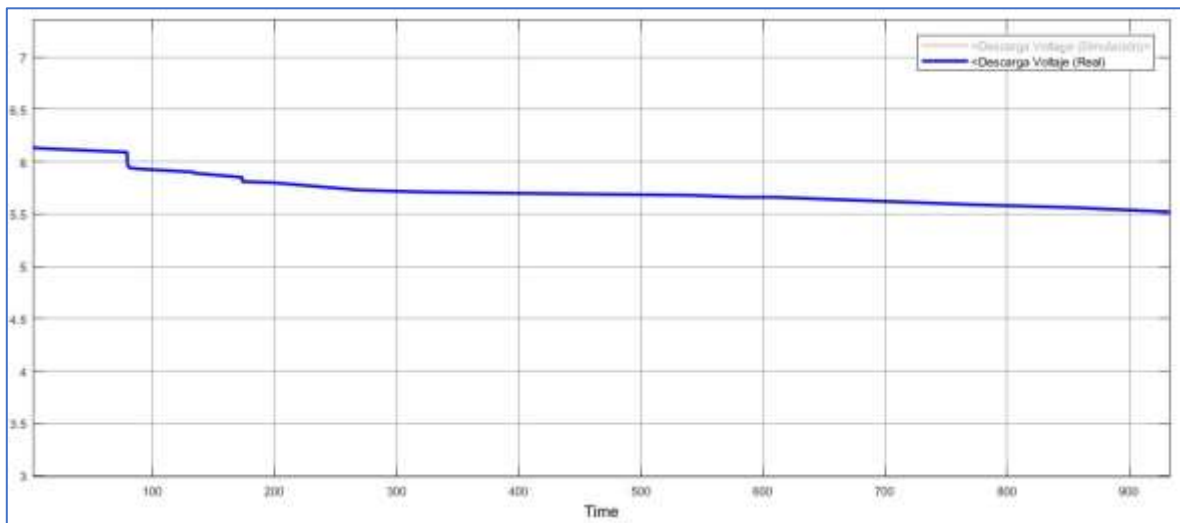


Figura 5.36.- Curva de descarga del banco de baterías de 6V generada en Matlab a partir del análisis de video de la interfaz USB del módulo Buck-Boost

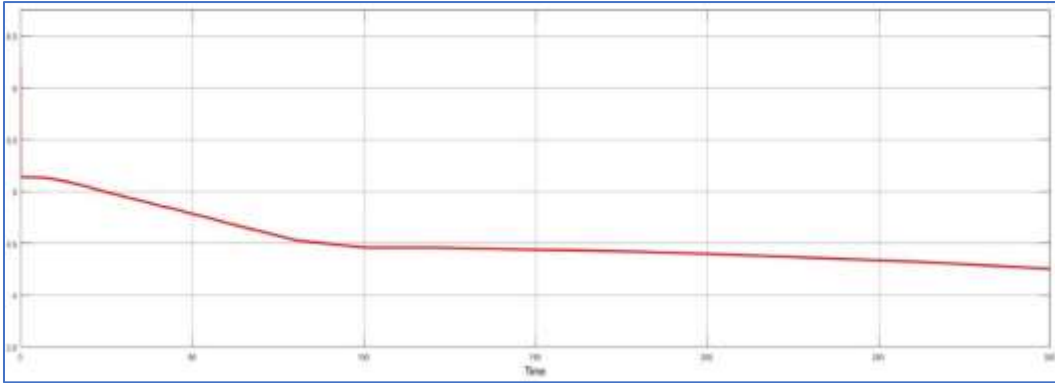


Figura 5.37.- Curva de descarga del banco de baterías de 12V generada en Matlab a partir del análisis de video de la interfaz USB del módulo Buck-Boost

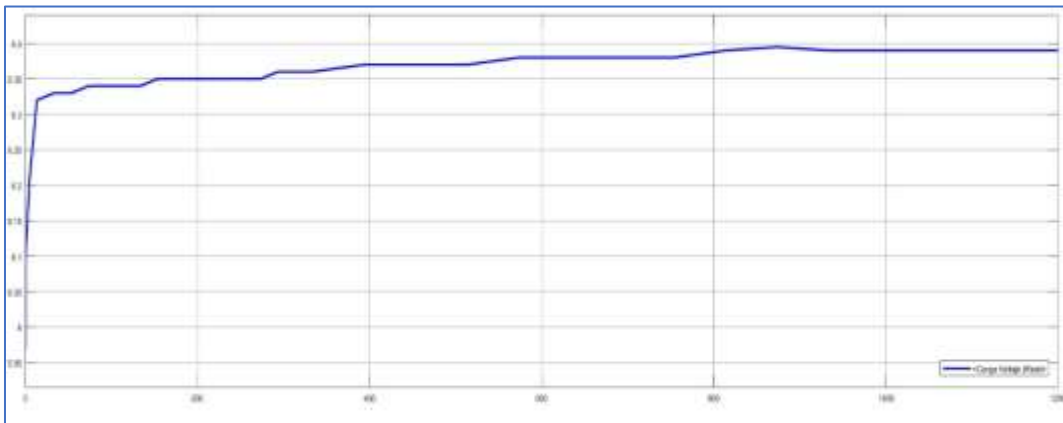


Figura 5.38.- Curva de carga del banco de baterías de 6V generada en Matlab a partir del análisis de video de la interfaz USB del módulo Buck-Boost

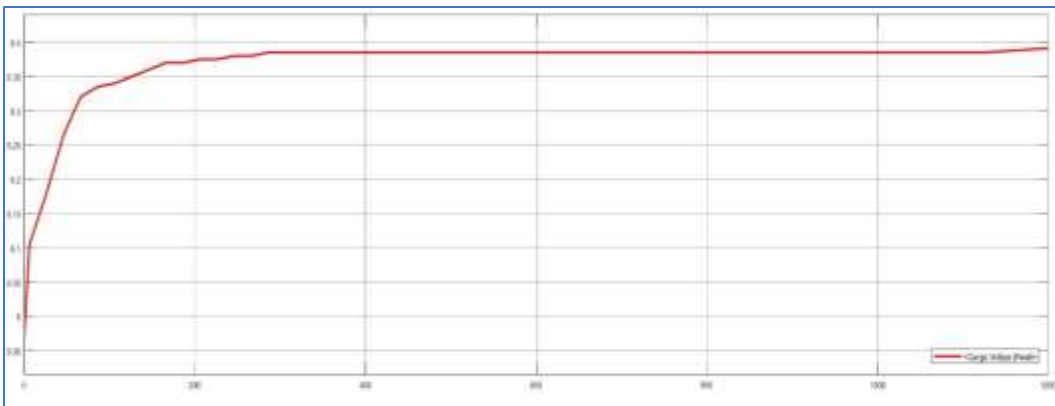


Figura 5.39.- Curva de carga del banco de baterías de 12V generada en Matlab a partir del análisis de video de la interfaz USB del módulo Buck-Boost

# Comparativa de datos

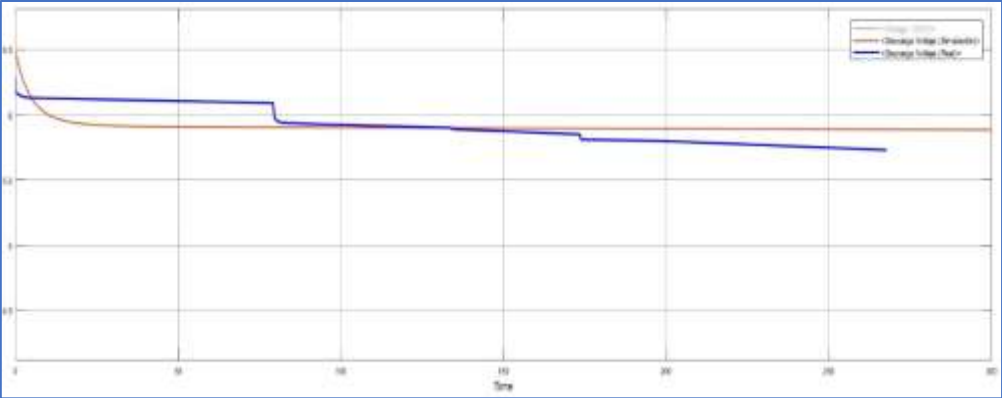


Figura 5.40.- Comparativa de curvas de descarga banco de 6V con carga nominal después de 5 minutos.

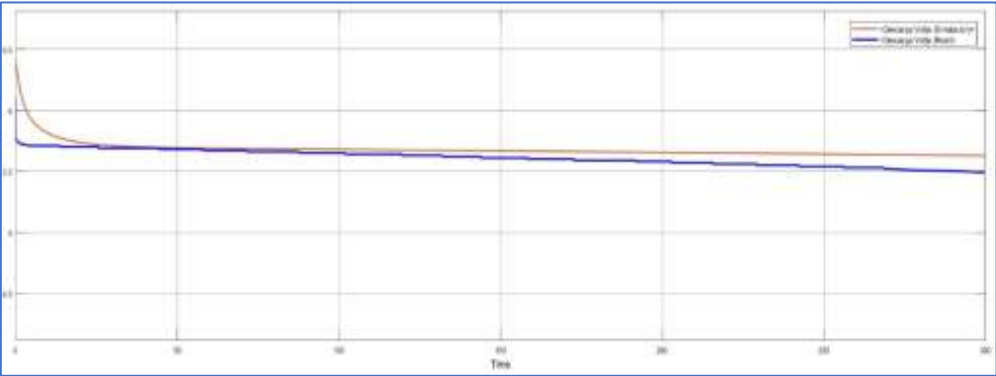


Figura 5.41.- Comparativa de curvas de descarga banco de 6V con media carga después de 5 minutos.

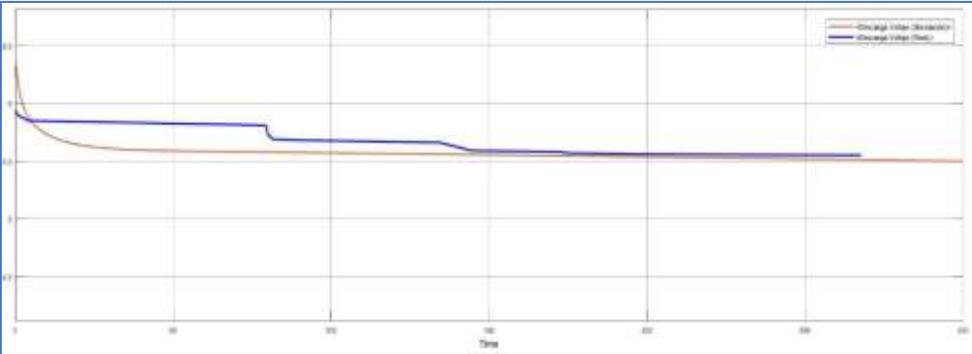


Figura 5.42.- Comparativa de curvas de descarga banco de 6V con sobre carga después de 5 minutos.

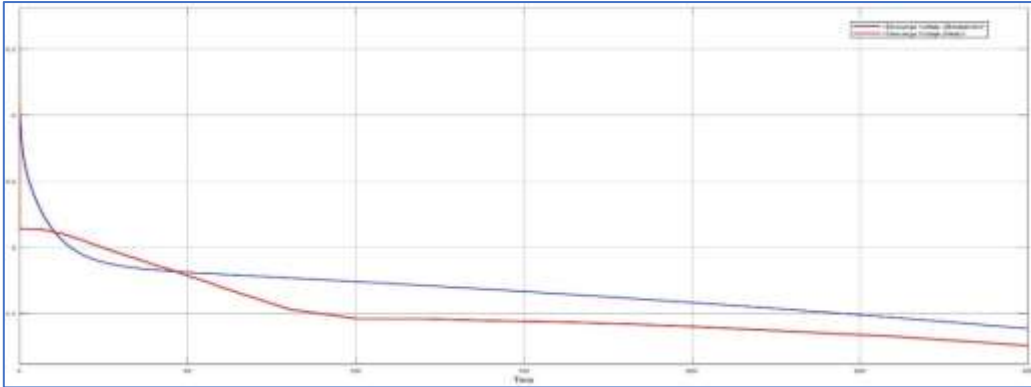


Figura 5.43.- Comparativa de curvas de descarga banco de 12V con carga nominal después de 5 minutos.

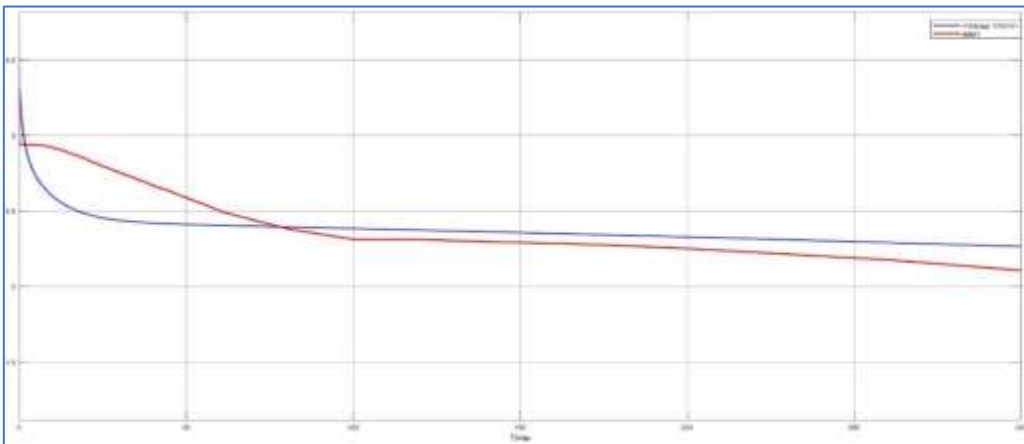


Figura 5.44.- Comparativa de curvas de descarga banco de 12V con media carga después de 5 minutos.

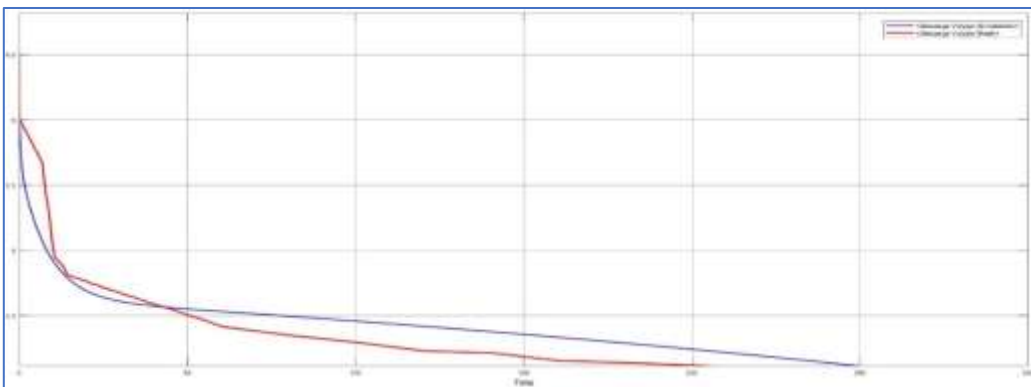


Figura 5.45.- Comparativa de curvas de descarga banco de 12V con sobre carga después de 5 minutos.

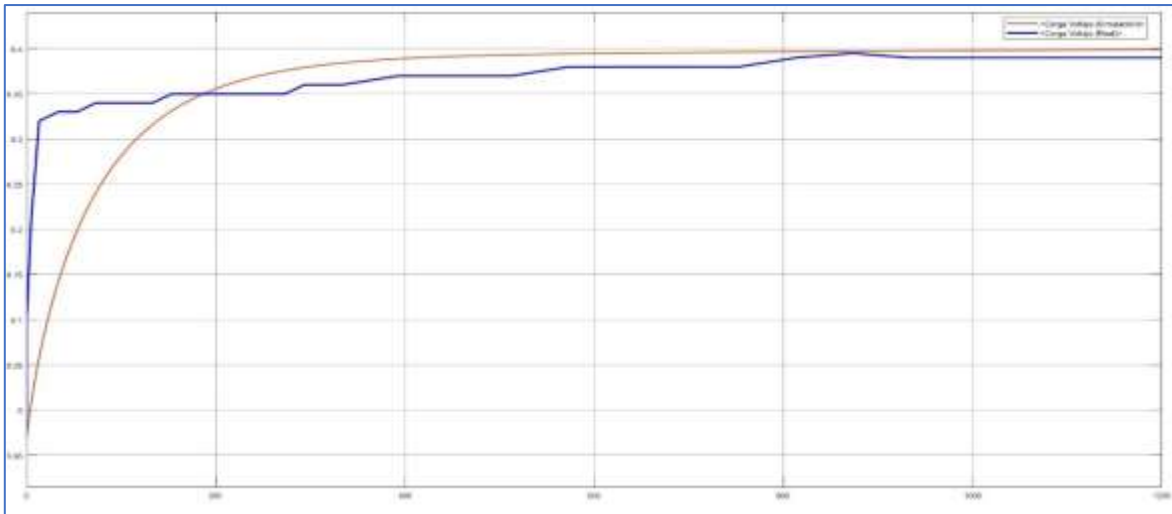


Figura 5.46.- Comparativa de curvas de carga banco de 6V después de 20 minutos.

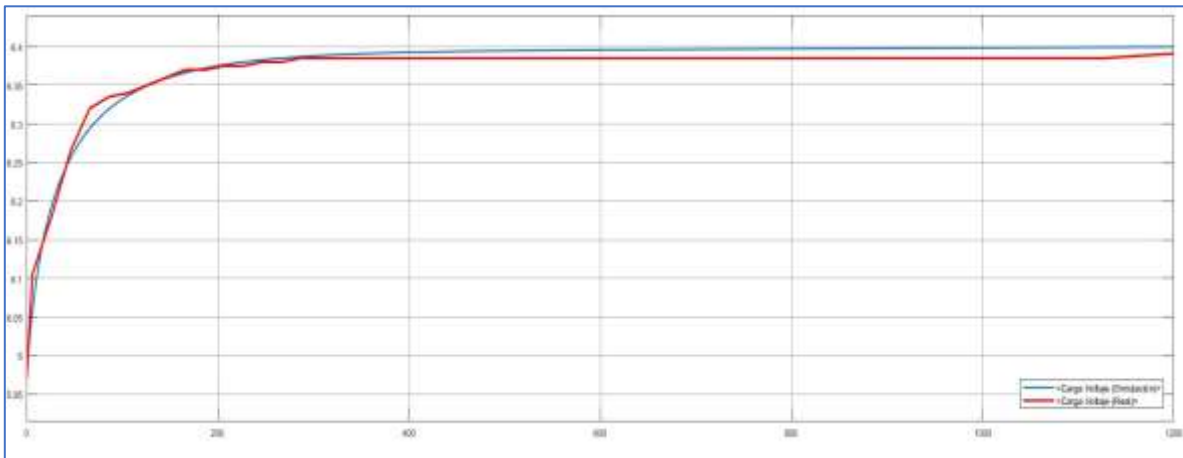


Figura 5.47.- Comparativa de curvas de descarga banco de 12V después de 20 minutos.

Tabla 5.1.- Comparativa de datos.

	Curva de carga				Curva de descarga			
	Simulación	Experimentación	Fabricante	Variación de voltaje con respecto a datos	Simulación	Experimentación	Fabricante	Variación con respecto a datos del fabricante
Media carga	-	-	-	Sim: - Exp: -	5.26 V 5.88 V	5.14 V 5.80 V	6.25 V 6.2V	Sim:0.99V/0.32V Exp:1.11/0.4V
Carga nominal	6.4V 6.39 V	6.37 V 6.4V	6.53 V 6.53 V	Sim: 0.13V/0.14V Exp:0.16V/0.13V	4.38 V 5.62 V	4.25 V 5.73 V	6.1V 6.2V	Sim:1.72V/0.58V Exp:1.85V/0.47V
Sobre carga	-	-	-	Sim: - Exp: -	3.96 V 5.49 V	3.26 V 5.52 V	5.9V 6.1V	Sim:1.94V/0.61V Exp:2.64V/0.58V

# Capítulo VI. - Discusión y Conclusiones

## Análisis y discusión del comportamiento del regulador

En los últimos años, la integración de energías renovables y cogeneración, están empezando a descentralizar el sistema de producción de energía eléctrica. Las energías renovables eliminan el problema de la dependencia energética exterior y del impacto medioambiental. Por contrapartida, la imprevisibilidad en la potencia generada a través de renovables obliga a que, para altos índices de penetración, sea necesario utilizar almacenamiento eléctrico. La investigación pendiente para una generación completamente descentralizada es el almacenamiento. Por el momento, no se ha encontrado un modo de almacenamiento que iguale la densidad energética de los combustibles fósiles. Las pilas de combustible tienen rendimientos entre el 40 y el 60%, son silenciosas. Sin embargo, emplean metales catalíticos costosos y escasos. Además, incluso para pilas potentes, su tensión de salida es continua y baja; y su rapidez de respuesta lenta (Esparza, 2015).

El uso de las baterías de plomo-acido es la tecnología más madura. Su tiempo de vida oscila alrededor de 1500 ciclos y alcanzan rendimientos de 80%. Presenta una importante dependencia de la temperatura ambiente. Se adaptan bien a requerimientos de almacenamiento durante periodos largos. Requieren un mantenimiento periódico para recargar el electrolito y son bastante pesadas. Los convertidores CC/CC tienen un futuro muy prometedor como parte de los sistemas de almacenamiento de energía basados en supercondensadores y baterías. Una vez decidido el tipo de sistema de almacenamiento, debe modelarse en detalle el comportamiento de dicha carga (Ausín, 2016).

Una solución que se tiene para la disminución de la utilización de recursos no renovables para la generación de energía y que ha comenzado a tomar importancia en años recientes es la micro red de CD. Una micro red de CD es un subconjunto autosustentable de un sistema de potencia que puede operar independientemente o conectado a la red. En aplicaciones de micro redes de CD es posible conectar diferentes fuentes de energía renovable para contar con energía disponible en los diferentes buses de CD, por lo que contar con un convertidor bidireccional entre éstos, permite compensar disturbios originados por la dinámica natural de la fuente de energía renovable y la conexión o desconexión de las cargas (Morfín, Rodríguez, & Rodríguez, 2018).

El principal problema cuando se quiere simular un sistema distribuido de potencia es la falta de modelos para la mayor parte de los componentes que los integran (baterías, paneles solares, pilas de combustible, filtros EMI, protecciones, convertidores CC-CC, inversores, distintos tipos de carga, etc.). La mayor parte de los fabricantes proporcionan datos o especificaciones de los mismos que son de gran utilidad para su selección y para determinar su rango de aplicación. Sin embargo, estos no suelen dar modelos de los mismos que puedan ser implementados en un simulador para comprobar su validez dentro del sistema de alimentación o como interactúa con el resto de las componentes. La presente investigación está dirigida al modelado comportamental de convertidores CC-CC tanto de una salida, para la simulación y el análisis de sistemas de alimentación distribuida. Estos modelos se caracterizan porque son parametrizables y están basados en las especificaciones que proporcionan los fabricantes en sus hojas de características o en medidas de los mismos. Para ello se propone de forma original un modelo comportamental híbrido que tiene en cuenta el comportamiento estático del convertidor. Asimismo, se propone de forma original la extensión del modelo comportamental a convertidores con capacidad de puesta en paralelo y la aplicación de los mismos al análisis y simulación de sistemas distribuidos de potencia (Oliver, 2007).

Los trabajos de investigación presentados en este proyecto se centraron en la vigilancia de la demanda de la carga y la descarga de un banco de baterías en un sistema híbrido de generación eléctrica autónomo. El sistema elegido se encuentra construido alrededor de un bus de corriente continua que vincula subsistemas de generación eólica y fotovoltaica. Como medio de almacenamiento utiliza un banco de baterías de ácido plomo que impone la tensión sobre el bus citado. Finalmente, a fin de adaptar la naturaleza de la energía eléctrica entregada, el sistema cuenta con un inversor de tensión que alimenta una carga temporalmente variable. A partir del estudio del sistema híbrido adoptado, se propuso una estrategia de operación que considera las diferentes situaciones de generación y demanda posibles (Valenciaga, 2001).

## Recomendaciones y ajustes de la integración

A partir de los resultados obtenidos es posible considerar que las familias que viven en las zonas urbanas marginadas sin servicios puedan acceder al uso de la energía eléctrica. Sin

embargo, para ello es necesario que sigan las siguientes recomendaciones que modifican de manera cultural la convivencia familiar.

1. Uso de principal de la fotocelda como elemento generador de energía eléctrica en CC.
2. Uso alternativo de un aerogenerador monofásico como elemento secundario de generación de energía eléctrica o del suministro de CA de una casa habitación con un sistema de mayor potencia de generación de energía eléctrica.
3. Mantenimiento y vigilancia constante a los bancos de baterías y su posibilidad de falla.
4. Iluminación por LED en toda la casa habitación.
5. Limitar el servicio eléctrico a los dormitorios solo a la iluminación por LED.
6. Convivir alrededor de un centro de carga principal (quiosco), para la alimentación de dispositivos que trabajan directamente en CC, como celulares, laptops, tabletas y pantallas de TV.
7. Limitar el uso de la energía de CA a los dispositivos de cocina y lavado indispensables.
8. Excluir el uso de refrigerador y calefacción.
9. Exclusión de contactos de CA.
10. Prohibir el uso de extensiones centros de entretenimiento.

El dispositivo regulador no incluye el cálculo de pérdidas eléctricas por caída de tensión, ya que considera distancias mínimas de instalación y distribución que no sobrepasan los 15 metros lineales, con respecto a la ubicación de la fotocelda.

## Consideraciones sobre la configuración propuesta

El siguiente apartado trata sobre la justificación que soporta el argumento conceptual sobre la configuración propuesta.

- ✚ Se eligió la alimentación principal del dispositivo por fotoceldas, porque uno de los problemas que se plantean en las redes de distribución de corriente alterna es el amortiguamiento de oscilaciones. Esto es, la caída en la frecuencia de operación cuando el consumo de potencia se dispara (Ausín, 2016).

- ✚ La etapa de fuente regulada de CA-CC se proyecta para un posterior suministro de CFE (de acuerdo con el incremento de la infraestructura pública), para incorporar la vivienda aislada a la red de energía eléctrica y evitar cambios en la infraestructura ya existente.
- ✚ La etapa del Buck converter permitirá mantener un voltaje constante de alimentación a un banco de baterías configurable de 6 VCC con la intención de mantener la alimentación de manera directa, sin el uso de los llamados cargadores de corriente a los dispositivos y aparatos eléctricos como iluminación, gadgets o celulares, entre otros.
- ✚ El uso de un Boost coverter favorecerá la conexión de dispositivos eléctricos de medio voltaje por medio de un banco de baterías de 48 VCC configurable, también puede ser utilizado para alimentar dispositivos como bombas de CC.
- ✚ Las características técnicas de la integración para la regulación del suministro y requerimiento eléctrico están limitados a la funcionalidad y potencia de los prototipos académicos de venta al público. Estos dispositivos deberán tener la característica de no pagar impuesto o derechos de patente, por lo cual el desarrollo tiende a la economía en contraste a los dispositivos comerciales de potencias fijas y comerciales para converger en una equivalencia con las compañías dedicadas a la venta de energía eléctrica como CFE.
- ✚ Para incrementar la potencia de salida, se busca evaluar la conexión en paralelo de varios Boost converter. La documentación revisada no es alentadora en este aspecto. Sin embargo, el desarrollo realizado permitirá que la probabilidad de incrementar cargas de potencias superiores a 10 amperes y menores a 20 amperes puedan ser conectadas y alimentadas por los bancos de baterías cuando sea requerida una demanda extraordinaria.
- ✚ La alternativa de formar microrredes entre los pobladores de las zonas marginadas permitirá que a través de una legislación local puedan incorporar un ingreso para favorecer su economía. Para ello será necesario un centro de gestión de flujos que permita la adecuada organización, control y distribución de la energía. Entre los puntos a legislar se encontrarán las capacidades máximas instaladas y las demandas máximas, que serán limitadas a la supervivencia y convivencia decentes y dignas de

los habitantes de las zonas marginadas sin servicios públicos. Las oportunidades comerciales no serán atendidas en las viviendas para mantener una regularidad y consistencia del diseño autosustentable.

- ✚ Se busca cubrir, a través de la implementación colaborativa del dispositivo regulador la falta de una alternativa tecnológica de diseño abierto y pública que permita a grupos o individuos con algún conocimiento técnico implementar sus propias soluciones de acceso al suministro de energía eléctrica. Asimismo, se ha planteado como una alternativa para las ONG's que buscan hacer llegar una solución energética en sitios aislados, o para quienes quieren obtener un servicio eléctrico económico a partir de fuentes renovables. Se ha considerado ya en otros estudios que a través de una tecnología Open-Source se permite a actores locales construir su propia cadena de conversión eléctrica, y también a fabricantes que al adherirse al concepto modular y estándar, puedan proveer alternativas compatibles con esta iniciativa (Alinei, y otros, 2016).

El prototipo propuesto en primera instancia es un producto que busca adaptarse a diversos sistemas de GEEMTA de baja potencia, ya que el enfoque modular permite sobre una base común combinar distintos módulos de acuerdo con las particularidades de la región y el sistema a alimentar.

Considerando que los niveles de tensión y corriente pueden variar significativamente con la demanda de la carga. Se busca en posteriores estudios implementar módulos para incrementar la potencia, y lograr que se inserten en una plataforma estandarizada y cuenten con un módulo central de monitoreo y supervisión configurable. El módulo central será la inteligencia que comunique los módulos estándar (cada uno con su propio controlador de bajo costo) y permita configurar su operación. A través de esto es posible asegurar que una determinada combinación de módulos sirva cada aplicación de micro generación requerida (Alinei, y otros, 2016).

Por lo tanto, el producto final coincidiendo con el trabajo de Alinei (2016) debe contar con las siguientes características:

- ✚ Altamente versátil, para adaptarse a distintas fuentes renovables de energía.

- ✚ Costo-eficiente:
  - Módulos genéricos fabricados en serie.
  - Se paga por el producto, no por la marca ya que es código y hardware abierto.
  - Compatible con módulos de autoconstrucción.
- ✚ Mantenimiento menos oneroso: En caso de fallas, se reemplaza un módulo y no todo el sistema.

## Conclusiones

El estudio realizado ha permitido comprobar la hipótesis planteada, al estudiar los prototipos didácticos comerciales de convertidores de CA-CC, CC-CC y CC-CA, se pudo integrar un dispositivo distribuidor-regulador de energía eléctrica de alta tecnología **para optimizar el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por los sistemas de GEEMTA, que mantiene un adecuado control del consumo de la energía eléctrica, generada por celdas fotovoltaicas.** Por lo cual ha sido posible poner al alcance de los habitantes de las zonas marginadas de la ciudad de Puebla el acceso a la energía eléctrica, mediante la inducción de un cambio cultural en la convivencia familiar.

En cuanto a la oportunidad tecnológica está presente la continuidad mediante trabajos futuros para con un diseño propio incrementar la potencia del dispositivo regulador de energía y mejorar sus prestaciones y posibilidades de operación en microrredes, que incrementen la capacidad de suministro eléctrico mediante los sistemas de GEEMTA.

## Bibliografía

- Adame, G. M., Candia, G. F., & Galindo, L. V. (2012). Interconexión de Sistemas de GEEMTA de Hasta 5 Kw a la Red de CFE. 2° Congreso de Tecnología (págs. 1-12). México DF: FES UNAM.
- Alepuz, M. S. (Noviembre de 2004). Aportación al Control del Convertidor CC/CA de Tres Niveles. Catalunya, España: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 04 de 06 de 2018, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93642/01Sam01de15.pdf>
- Alinei, J., Oliva, R., Lavado, L., Corica, J., Kahn, R., & Little, M. (2016). PROYECTO DE CONVERTIDORES MODULARES DE ELECTRONICA DE POTENCIA PARA ENERGIAS RENOVABLES. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 08.115-08.125.
- Ausín, H. A. (22 de Enero de 2016). CONVERTIDORES CC/CC EN LA INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO CON SISTEMAS DE GENERACIÓN EÓLICA. Alcalá de Henares: UAH. Recuperado el 04 de 06 de 2018, de <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/28181/TFM-Aus%C3%ADn-Herrero-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrado, B. A. (1999). ESTUDIO, DESARROLLO Y MODELADO DE NUEVAS TOPOLOGÍAS DE CONVERTIDORES CC/CC DE MÚLTIPLES SALIDAS BASADAS EN EL CONTROL POR MODULACIÓN DE ANCHURA DE PULSO - RETARDO DE PULSO (PWM-PD). Madrid, España: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Recuperado el 04 de 06 de 2018, de <https://www.infouniversidad.es/tesis-doctorales/ciencias-tecnologicas/estudio-desarrollo-y-modelado-de-neuvas-topologa%C2%ADas-de-convertidores-cc-cc-de-multiples-salidas-basadas-en-el-control-por-modulacion-de-anchura-de-pulso-retardo-pwm-pd/>
- Barrales, A. G. (09 de 2016). MICRO-REDES AISLADAS: UN DESAFÍO PARA LOS DSO. Madrid, España: Universidad Pontificia Madrid. Recuperado el 26 de 09 de 2018, de <https://docplayer.es/63812811-Micro-redes-aisladas-un-desafio-para-los-dso.html>
- Candia, G. F., & Galindo, L. V. (2012). La contaminación por silicio una proyección negativa del uso de tecnologías alternativas. 2° Congreso de Tecnología. México DF: FES UNAM. Recuperado el 07 de 09 de 2018
- Candia, G. F., & Galindo, L. V. (2012). Sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, Titulación en IES. *PCTI*, 1-1. Obtenido de <http://pcti.mx/articulos/item/sistemas-hibridos-de-generacion-de-energia-electrica-titulacion-en-ies>
- Candia, G. F., Carmona, R. J., & Landa, G. C. (2014). La salud pública un indicador para validar la viabilidad de las tecnologías alternativas. *Ingeniería y Tecnología*, 63-67.
- Chinchuña, T. G. (2018). MEJORAMIENTO DE LA FIABILIDAD EN MICROREDES MEDIANTE EL CONTROL ROBUSTO DE VOLTAJE USANDO TÉCNICAS PASIVAS DE TOLERANCIA A FALLOS. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 26 de 09 de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15342>

- Cruz-Ardila, J. C., Cardona-Gómez, J. C., & Hernández-Porras, D. M. (2013). Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa. *Entramado*, 9(2), 234-248.
- Delgado, J. R., Monge, S. B., & Farrerons, J. B. (2006). Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable. *XIX Jornades de Conferències d'Enginyeria Electrònica del Campus de Terrassa* (págs. 73-78). Escola d'Enginyeria de Terrasa. Recuperado el 01 de 06 de 2018, de [http://www.jcee.upc.edu/JCEE2006/pdf\\_ponencies/PDFs/JCEE06\\_23\\_11\\_M1.pdf](http://www.jcee.upc.edu/JCEE2006/pdf_ponencies/PDFs/JCEE06_23_11_M1.pdf)
- Esparza, S. T. (2015). Diseño, dimensionado y simulación de un convertidor DC/DC elevador para pilas de combustible. España: Universidad Pública de Navarra. Recuperado el 12 de 09 de 2018, de <https://es.scribd.com/document/360040343/Memoria-Definitiva-Tomas-Esparza>
- Flores, O. L. (2004). ESTUDIO Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES TOPOLOGICAS DE CONVERTIDORES DE CC-CC BIDIRECCIONALES PARA SU APLICACIÓN EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS. Aguascalientes, México. Recuperado el 02 de 06 de 2018, de <http://oa.upm.es/178/>
- Hernández, T. L., & Rojas, M. J. (2018). SIMULACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA APLICADOS EN MICRORREDES ELÉCTRICAS. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Recuperado el 26 de 09 de 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7962/1/Hern%C3%A1ndezTocoraLuisCarlos2018.pdf>
- Mírez, J., Hernández-Callejo, L., Horn, M., & Bonilla, L. (2017). Simulación de microred en corriente continua y estudio de gestión de potencia y de carga/descarga de baterías. *Dyna*, 673-679. doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8475>
- Mohan, N., Undeland, T., & Robbins, W. (2009). *Electrónica de Potencia*. México DF: Mc Graw Hill.
- Moreno, D. L. (2017). Estado del Arte sobre Diseño y Dimensionamiento de Microrredes Eléctricas. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Recuperado el 26 de 09 de 2018, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71032/>
- Morfín, O. J., Rodríguez, E. H., & Rodríguez, S. E. (2018). CONVERTIDOR BIDIRECCIONAL MULTIFASE PARA APLICACIONES DE MICRO REDES DE CD. *Pistas Educativas*, 1174-1190.
- Oliver, R. J. (2007). MODELADO COMPORTAMENTAL DE CONVERTIDORES CC-CC PARA EL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE POTENCIA. *Tesis*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 12 de 09 de 2018, de <https://www.tdx.cat/handle/10803/638>
- OLIVER, R. J. (2007). MODELADO COMPORTAMENTAL DE CONVERTIDORES CC-CC PARA EL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE POTENCIA. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 01 de 06 de 2018, de [http://oa.upm.es/1131/1/JESUS\\_ANGEL\\_OLIVER\\_RAMIREZ.pdf](http://oa.upm.es/1131/1/JESUS_ANGEL_OLIVER_RAMIREZ.pdf)
- ONU. (2018). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Recuperado el 28 de 08 de 2018, de Objetivos de Desarrollo sostenible:

<http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-4-quality-education.html>

- Ortega, R., Carranza, O., Sosa, J., García, V., & Hernández, R. (2016). Diseño de controladores para inversores monofásicos operando en modo isla dentro de una microrred. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 115-126. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2015.09.010>
- Ross, M. M., Turcotte, D., Roussin, S., & Fry, M.-A. (2004). COMPARISON OF AC, DC, AND AC/DC BUS CONFIGURATIONS FOR PV HYBRID SYSTEMS. *SESCI 2005 Conference* (págs. 1-12). Burnaby, British Columbia, Canada: RER Renewable Energy Research. Recuperado el 01 de 06 de 2018, de [https://www.researchgate.net/publication/254003304\\_COMPARISON\\_OF\\_AC\\_DC\\_AND\\_ACDC\\_BUS\\_CONFIGURATIONS\\_FOR\\_PV\\_HYBRID\\_SYSTEMS](https://www.researchgate.net/publication/254003304_COMPARISON_OF_AC_DC_AND_ACDC_BUS_CONFIGURATIONS_FOR_PV_HYBRID_SYSTEMS)
- Salazar, G., & Carrión, D. (2015). Characterization and modeling of the efficiency of photovoltaic systems. *Transacciones IEEE Latinoamérica*, 13(8), 2580 - 2586. doi:DOI: 10.1109 / TLA.2015.7332135
- Santiago, E. A. (2017). Carburo de Silicio: del cristal al convertidor. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República. Recuperado el 08 de 09 de 2018, de <https://ie.fing.edu.uy/publicaciones/2017/ES17/ES17.pdf>
- Thibaud, S., Roberts, J., & Prado, P. (11 de 2015). *Proyecto de un sistema híbrido de generación con energías renovables para un establecimiento rural aislado*. Recuperado el 26 de 09 de 2018, de <https://www.researchgate.net/>: [https://www.researchgate.net/publication/293950988\\_Proyecto\\_De\\_Un\\_Sistema\\_Hibrido\\_De\\_Generacion\\_Con\\_Energias\\_Renovables\\_Para\\_Un\\_Establecimiento\\_Rural\\_Aislado?esc=publicationCoverPdf&el=1\\_x\\_3&enrichId=rgreq-4a77a301ca2493e8faa6f68b6c6c769d-XXX&enrichSourc](https://www.researchgate.net/publication/293950988_Proyecto_De_Un_Sistema_Hibrido_De_Generacion_Con_Energias_Renovables_Para_Un_Establecimiento_Rural_Aislado?esc=publicationCoverPdf&el=1_x_3&enrichId=rgreq-4a77a301ca2493e8faa6f68b6c6c769d-XXX&enrichSourc)
- Valenciaga, F. (Noviembre de 2001). Control de Estructura Variable en Sistemas Híbridos de Generación de Energía. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata. Recuperado el 01 de 06 de 2018, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1359/Documento\\_completo\\_\\_.pdf?sequence=37](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1359/Documento_completo__.pdf?sequence=37)
- Xu, Z., & Shi, X. (2012). Education Platform for Simulation of Buck Converter in Matlab GUI. En H. Kim, *Advances in Technology and Management* (págs. 617-626). Springer. doi:10.1007/978-3-642-29637-6



## Anexo I. – Cotización

Tecamac, Estado de México a 18 de Julio de 2018

Cotización 08-528

A quien corresponda

Cantidad	Modulo	Producto	p.u	
2	Módulo Fuente De Alimentación Conmutada Ca-cc 4-6amp 24v		\$560.00	
2	Rd Dph5005 Lcd Convertidor De Buck-boost Programable Digital, 10 A.		\$2250	
2	Convertidor Dcdc Buck Reductor Ajustable 20a 300w 1.2 - 36v		\$920	
2	Convertidor Dcdc Boost Elevador Ajustable 15a 400w 10 - 60v		\$860	
2	Inversor Elevador 150w Dc 12v A 110v Ac 220v		\$395	

2	Módulo Regulador Reductor De Voltaje Con Usb Dual Zndiy-bry		\$515	
4	Batería Sellada De Ácido-plomo, 6 Vcc 4 Ah		\$600	
4	BATERÍA SELLADA DE ÁCIDO-PLOMO, 12 VCC 12 AH		\$890	
		Subtotal		
		IVA		
		Total		

**Precios incluyen IVA y traslado a sus instalaciones**

Precio de contado

Pedidos lunes a viernes de 8:00 a 16:00 horas

**Nota:** Para realizar el suministro del Pedido se requiere la confirmación de depósito vía correo electrónico, transferencia o depósito en efectivo, en la cuenta de su preferencia.

**Francisco Javier Fuentes Fernández**

**HSBC** Cuenta **6298033384** CLABE **021180062980333844**

**Bancomer** Cuenta **2966240879** CLABE **012180029662408793**

*Atentamente*

***Ing. Javier Fernández***

***Asesor comercial***

***Soluciones Empresariales***

55 44 21 26 74

55 42 78 74 65

Vigencia 15 días hábiles precios sujetos a cambio sin previo aviso