

# Diseño y simulación de un sistema de generación fotovoltaica para una cocina de inducción

*Design and simulation of a photovoltaic generation system for an induction cooker*

*Projeto e simulação de um sistema de geração fotovoltaica para um fogão de indução*

**Rita Paola León Pérez**

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

[rpleon1@espe.edu.ec](mailto:rpleon1@espe.edu.ec)

**Darwin Leónidas Aguilar Salazar**

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

[dlaguilar@espe.edu.ec](mailto:dlaguilar@espe.edu.ec)

**Rubén David Vélez Ortuño**

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

[rdvelez@espe.edu.ec](mailto:rdvelez@espe.edu.ec)

**Diego Gustavo Arcos Avilés**

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

[dgarcos@espe.edu.ec](mailto:dgarcos@espe.edu.ec)

## Resumen

El presente proyecto consiste en diseñar y simular los elementos necesarios para las etapas que conforman un sistema de generación fotovoltaica que permite abastecer de energía a una cocina de inducción magnética. Para ello se muestran los procedimientos de diseño de las etapas de potencia, almacenamiento y generación fotovoltaica, las cuales conforman cada uno de los sistemas de generación fotovoltaica, uno sin sistema de almacenamiento y dos con sistema de almacenamiento. La simulación de cada uno de los modelos planteados se

desarrolla con el software Matlab-Simulink, las etapas de potencia se desarrollan con la librería SimPowerSystems, el diseño de los controladores se desarrolla con la librería Sisotool, y el desarrollo de las simulaciones se comprueba con el correcto funcionamiento de los sistemas dentro de los parámetros establecidos. Finalmente se comparan los modelos desarrollados a fin de determinar cuál es el sistema más propicio para abastecer de energía a la cocina de inducción magnética.

**Palabras clave:** sistemas fotovoltaicos, sistemas de potencia, cocina de inducción, control PID, paneles fotovoltaicos.

### Abstract

In this project presents the design and simulation of the elements necessary to design the stages that are part of a photovoltaic generation system that allows power supply to a magnetic induction cooker. Showing design procedures of the power stages, storage and photovoltaic generation, for each photovoltaic generation systems, for this the following models were defined: a model for a photovoltaic system without storage system, and two models for photovoltaic system with storage system. The simulation of each of the proposed models was made in the software Matlab - Simulink, the power stages are developed by SimPowerSystems library, the design of controllers developed by Sisotool library. Through simulations it checked the correct functioning of the systems under the established parameters. Additionally the models developed to determine what is the most suitable for the supply of energy for cooking magnetic induction system is compared.

**Key words:** photovoltaic systems, power systems, induction cooker, PID control photovoltaic panels.

### Resumo

Este projeto é projetar e simular os elementos necessários para as fases que compõem um sistema de geração de energia fotovoltaica que permite fornecimento de energia a um fogão de indução magnética. Para estes procedimentos de design das fases de energia, armazenamento e geração fotovoltaica são mostrados, que formam cada sistemas de geração fotovoltaica, um sem sistema de armazenamento e dois sistema de armazenamento. A simulação de cada um dos modelos propostos é desenvolvido com software Matlab-Simulink,

as fases de energia são desenvolvidos com a biblioteca SimPowerSystems, o projeto do controlador é desenvolvido com a biblioteca Sisotool, e desenvolvimento de simulações é verificada o bom funcionamento dos sistemas dentro dos parâmetros estabelecidos. Finalmente, os modelos desenvolvidos para determinar o que é o mais propício para fornecer energia para o sistema de cozimento por indução magnética são comparados.

**Palavras-chave:** sistemas fotovoltaicos, sistemas de energia, fogão de indução, controle PID, painéis fotovoltaicos.

**Fecha recepción:** Septiembre 2015

**Fecha aceptación:** Enero 2016

---

## Introdução

A utilização de energias renováveis para a geração de energia elétrica está se tornando mais popular, que se destina a respeitar a natureza e parar de depender de recursos fósseis. O Estado equatoriano promove o uso de recursos renováveis como água, vento e sol para gerar energia; vários eólica, hidroelétrica e solar projetos são desenvolvidos no país com a visão de mudar a matriz energética que visa parar a dependência de recursos não renováveis na geração de energia. Entre as mudanças envolvidas na matriz energética é a substituição do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) como fonte de geração de energia elétrica nas cozinhas domésticas. O governo equatoriano apoia projectos que envolvam a utilização de energias renováveis, e, assim, aumenta a inclusão de um sistema de geração fotovoltaica para um fogão de indução magnética.

Um sistema de geração fotovoltaica é um conjunto de dispositivos que trabalham em conjunto para gerar eletricidade com base na radiação solar disponível em determinados momentos do dia, desde que condicionado a inclusão de um sistema de armazenamento para o sistema de geração fotovoltaica surge para têm eletricidade e parar, dependendo da situação meteorológica. Isso requer surge um armazenamento de sistema de geração de energia fotovoltaica e energia não-sistema, a análise dos níveis de potência (conversão e investimento), sistema de armazenamento e sistema de geração fotovoltaica, é realizada

controladores são projetados e, finalmente, os resultados obtidos para as simulações dos modelos propostos são apresentados.

**Considerações de design**

As condições de projecto utilizadas neste estudo são as seguintes:

**Modelo simplificado do fotodetector**

O modelo simplificado do fotodetector é determinada considerando-se que não há perdas de energia no processo de transformação de energia (Figura 1).

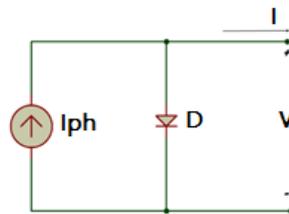


Figura 1. Modelo de Célula Fotoelétrica.

**Modelo geral da célula fotovoltaica**

Este circuito considera perdas no processo, incluindo a resistência no circuito (Figura 2).

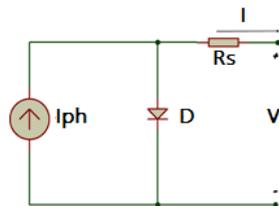


Figura 2. Modelo general de la célula fotoelétrica.

**Modelo geral do módulo fotovoltaico**

O circuito é composto por um número  $n$  de células em série e  $n$   $N_s$  número de células em NP paralelo, uma célula fotoelétrica e um  $R_s$  resistência (Figura 3) série.

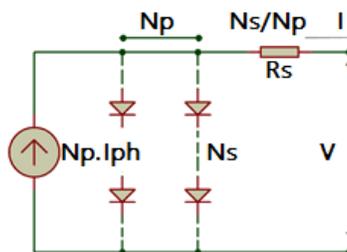


Figura 3. Modelo general de módulo fotoelétrico.

Para a concepção do módulo gerador fotovoltaico modelo Isofoton I165, cujas características de um único sinal de módulo usado eléctrica são apresentados na Tabela I.

Tabla I. Características eléctricas Isofoton I165

No.	Marca	Modelo	Potencia (W)	$I_{mpp}$ (A)	$V_{mpp}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)
1	Isofoton	I165	165	9.48	17.4	10.06	21.6

**Conversores de energia**

**DC-DC conversor boost**

É um dispositivo de alimentação que fornece na sua saída uma tensão superior à tensão de entrada,  $V_o > V_i$  figura 4.

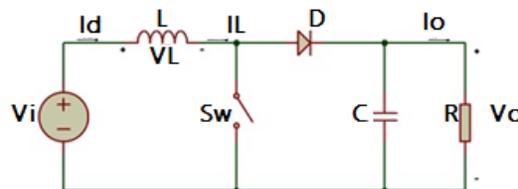


Figura 4. Convertidor elevador DC-DC

A função de transferência do conversor boost é definida com base na análise do estado estacionário e estado dinâmico (1).

$$G(s) = \frac{V_o}{1 - D} \frac{1 - \frac{Ls}{(1 - D)^2 \times R}}{\frac{LCs^2}{(1 - D)^2} + \frac{Ls}{(1 - D)^2 \times R} + 1} \tag{1}$$

**Conversor buck DC-DC**

É um dispositivo de poder que fornece na sua saída um valor de V média ou baixa tensão para a tensão de entrada Vi (figura 5).

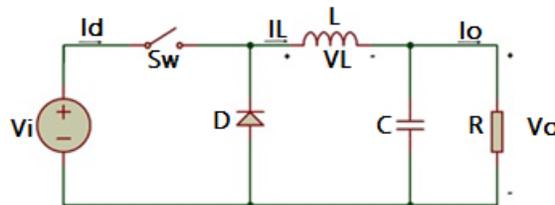


Figura 5. Convertidor reductor DC-DC.

As equações (2) e (3) permitir o cálculo dos valores da indutância e capacitância do conversor.

$$L = \frac{V_o}{\Delta i_L \cdot f} \tag{2}$$

$$C = \frac{I_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot f} \tag{3}$$

Onde: L inductancia, C capacitancia,  $f$  frecuencia,  $\Delta V_o$  variación de voltaje y  $\Delta i_L$  variación de corriente en inductor. No passo (4) a função de transferência é exibido, calculado com base em equações de estado do conversor buck.

$$\frac{V_{out}(s)}{D(s)} = \frac{\frac{1}{LC}}{\left[ s^2 + \frac{1}{RC} s + \frac{1}{LC} \right]} \tag{4}$$

**Inversor DC-AC e filtro**

Os conversores DC-AC são comutação de circuitos que geram energia elétrica em corrente alternada de uma fonte. A topologia do filtro de tipo ponte do inversor e LC completo é mostrado na Figura 6.

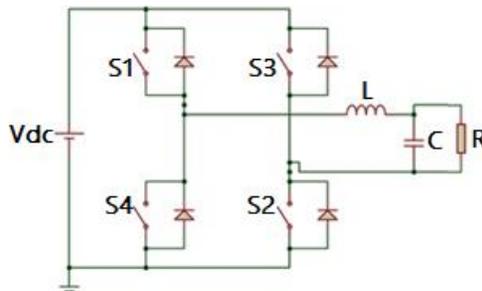


Figura 6. Inversor DC-AC y Filtro LC.

A função de transferência relativa saída do inversor variação de tensão de impulsos que controlam muda o inversor (5).

$$\frac{V_o(s)}{m(s)} = \frac{V_{DC} \times R}{s^2 RCL + s(LRCR_L) + R + R_L} \tag{5}$$

### Sistema de almacenamiento de energía

Um banco comercial, cujas características eléctricas são apresentados na Tabela II foi usado para obter as características técnicas e determinar o número de baterias necessárias para o sistema.

Tabla II. Características eléctricas ULTRACELL modelo UCG 150-12

<b>Voltaje nominal</b>	12V
<b>Capacidad nominal</b>	150Ah
<b>Características de Capacidad</b>	160.8Ah/8.04A (20hrs, 1.8V/cell, 25 <sup>0</sup> C)
	150Ah/15.0A (10hrs, 1.8V/cell, 25 <sup>0</sup> C)
	131.6Ah/26.3A (5hrs, 1.8V/cell, 25 <sup>0</sup> C)

Por (6) a capacidade de o sistema de armazenamento é calculada e (7) calcula o número de baterias que devem conter o sistema de armazenamento.

$$C_{bat} = \frac{D_{total} \times Aut}{V_{bat} \times DOD} \quad (6)$$

$$\text{NúmeroBaterias} = \frac{C_{bat}}{C_{carga}} \quad (7)$$

Onde:  $C_{bat}$  capacidad de una batería,  $Aut$  autonomía de un sistema de almacenamiento,  $V_{bat}$  voltaje en una batería,  $DOD$  factor de eficiencia del sistema de almacenamiento y  $C_{carga}$  capacidad requerida por el sistema.

### Considerações iniciais

- O fogão de indução terá uma potência máxima de 1300 watts, alimentado com uma tensão de 120 V e 60 Hz de frequência, dispositivo consome 21,6 A.
- O uso diário de cozinha está limitada a 2 horas e 45 minutos por dia.
- A localização geográfica para a qual a análise deve ser conduzida Quito-Ecuador.
- Na concepção do sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento sem o mesmo modelo de negócio de módulos fotovoltaicos e baterias usadas.
- No sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento, ele será o tempo estimado de autonomia de um dia.
- Para simular o mesmo design do inversor DC-AC para sistemas com e sem armazenamento de energia é utilizada.

- O dimensionamento do sistema de armazenamento será igual ao primeiro e segundo sistema modelo fotovoltaico1.

**Análise de carga e radiação solar**

**Análise de carga**

O fogão de indução é considerada uma carga cíclica, use 2 horas e 45 minutos por dia, um valor de 3600 kWh / dia, e margem de segurança de 10%, que é obtido o consumo de energia (8).

$$D_{total} = \frac{(Ddiaria*10\%)+Ddiaria}{factor\ de\ unidades} = 3.96 \frac{kwh}{dia}$$

$$D_{total} = \frac{(3600 * 0.1) + 3600}{1000} = 3.96 \frac{kwh}{dia} \tag{8}$$

**Radiação solar**

A radiação solar disponível para a cidade de Quito é consultado nos "fins Atlas do Equador Solar Power Generation", publicado pela Conecel. Os valores utilizados para o projeto são aquelas com as piores condições durante o ano, no valor de 4800Wh / m2 / dia.

**Projeto e simulação do sistema fotovoltaico, sem sistema de armazenamento**

Este sistema consiste de dispositivos: arranjo de módulos fotovoltaicos, DC-DC conversor boost, inversor DC-AC e filtro. A configuração deste modelo é apresentado na Figura 7

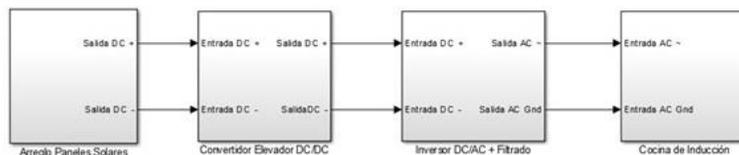


Figura 7. Topología sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento.

**Disposição de painel de projeto**

Considerando um rendimento de 90% para o sistema é dada por (9), o total de 9 unidades de painéis fotovoltaicos que são divididos em três módulos ligados em paralelo, com três módulos ligados em série e com uma potência total de 1485 W.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{D_{\text{total}}}{P_{\text{mpp}} \times \text{HSP} \times F_g} \tag{9}$$

Donde:  $D_{\text{total}}$  demanda total [wh/día],  $P_{\text{mpp}}$  punto de máxima potencia, HSP radiación solar disponible y  $F_g$  rendimiento del panel solar.

**Conversores de potência**

**DC-DC conversor boost**

Para projetar o conversor de impulso que foi considerado:  $V_o=200\text{v}$ ;  $V_i=52\text{v}$ ;  $f=20\text{Khz}$ ; ripple máximo de 10% atuais; flutuações da tensão máxima de 1% da tensão de saída, em que os valores de indutância e capacitância terá:  $L=829 \text{ uH}$  y  $C= 200\text{uF}$ .

A Figura 8 mostra a simulação de conversor ascendente mostrado, na parte superior da corrente do conversor elevador de tensão e a corrente de entrada gerado pela disposição de painel de saída mostrada, enquanto que na parte inferior da tensão de saída mostrada impulsionar o conversor e a tensão de saída. Pode ser visto que em  $t = 0,35 \text{ s}$  do conversor atinge o seu estado de equilíbrio com um valor de 200V.

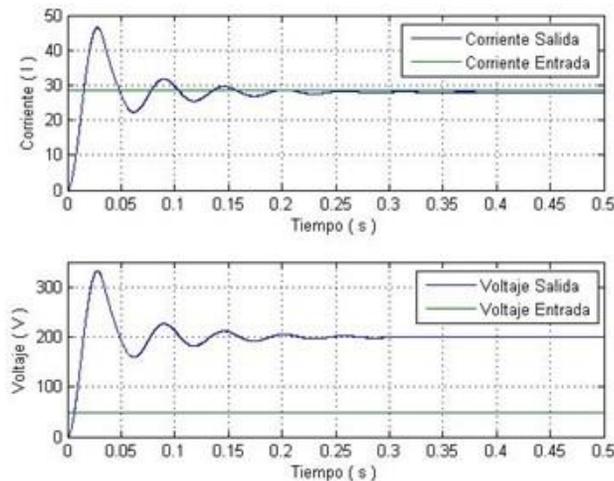


Figura 8. Simulación del convertidor elevador del sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento.

**Inversor DC-AC**

Para a concepção do inversor considerar o seguinte:

- A tensão de entrada do inversor é a tensão fornecida pelo conversor ascendente (200 V).
- A tensão do processo de investimento de saída e filtragem  $V_o$  é de 120 Vrms.
- Modulador:  $f_{mod}$  = frequência de 60 Hz e amplitude do pico do Controle de sinal de controle  $v = 200$  Vp.
- Portadora: frequência  $f_s = 6$  KHz e amplitude do pico do vtri sinal de controle = 240 Vp.
- Método de modulação de largura de pulso Técnico sinusoidal modulada SPWM unipolar.
- Filtragem Stage: LC tipo de filtro passa-baixa.

Na Figura 9, o sinal de tensão e corrente do inversor de filtragem mostrado passo de saída, e mostra que os sinais são sinusoidais com uma frequência de 60 Hz e uma amplitude de 170 Vpico, 120 Vrms.

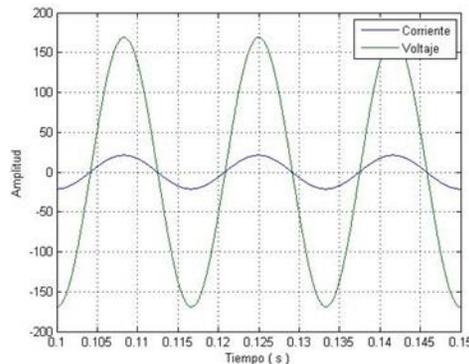


Figura 9. Simulación del inversor con etapa de filtrado del sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento.

### Drivers de sistema de design

Controladores de sistema fotovoltaico foram concebidos sem sistema de armazenamento de amplificadores de potência elevador conversor DC / DC, inversor DC / AC e filtro. Ao substituir o indutor e os valores do condensador e ciclo de trabalho  $D$ , é o andar do conversor de impulso e o inversor (10) e (11) respectivamente.

$$G_p(s) = \frac{-0.07974 s + 200}{6.13 \times 10^{-6} s^2 + 0.0003987 s + 1} \tag{10}$$

$$G_p(s) = \frac{120}{2.80 \times 10^{-8} s^2 + 1.80 \times 10^{-5} s + 1.07} \tag{11}$$

Usando as funções de transferência (10) e (11), usando o segundo método de controladores de ajuste de Ziegler-Nichols para PID<sup>9</sup>, o ganho crítico é calculado K<sub>cr</sub>, os valores de K<sub>P</sub> e T<sub>i</sub> são determinados, é substituído (12) e o controlador é. As funções de transferência do controlador de conversor ascendente e do inversor são apresentados nas equações (13) e (14) respectivamente.

$$G_c(s) = \frac{K_p \cdot s + \frac{K_p}{T_i}}{s} \tag{12}$$

$$G_c(s) = \frac{3.97 \times 10^{-4} s + 1.199}{s} \tag{13}$$

$$G_c(s) = \frac{3.285 s^2 + 2.475 \times 10^4 s + 1.644 \times 10^7}{s^2 + 1.786 \times 10^5 s} \tag{14}$$

O diagrama de blocos das Figuras 10 e 11 representam os sistemas de circuito fechado da planta G<sub>p</sub>(s) em série com o controlador PID G<sub>c</sub>(s), com realimentação unitária, o conversor de impulso e conversor respectivamente.

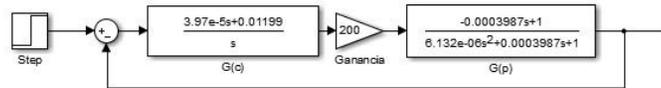


Figura 10. Diagrama de Bloques Controlador PI y Planta, para convertidor elevador de 52 V a 200 V.

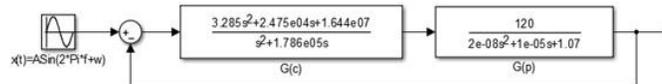


Figura 11. Diagrama de Bloques Controlador PID G(c) y Planta G (p), para inversor 200 VDC a 120 VAC.

A Figura 12 mostra a variação da radiação solar, o que mostra que, comparado com as diferentes variações do controlador de radiação estabiliza o sinal de tensão do conversor ascendente para atingir um valor estável 200V.

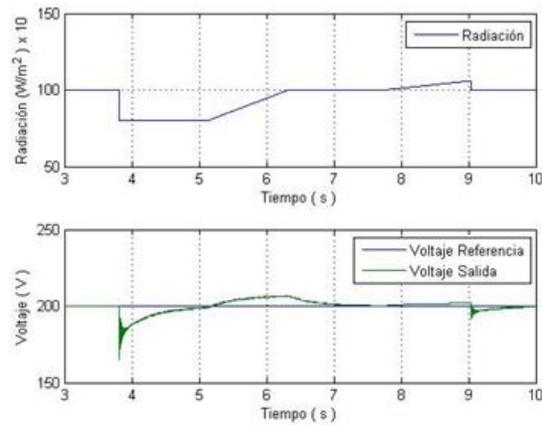


Figura 12. Simulación del Convertidor Elevador del sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento, frente variación de radiación solar.

A Figura 13 mostra que, antes de uma variação de tensão, o controlador de estabiliza o sinal de saída de voltagem do inversor para atingir um valor estável 170Vpico.

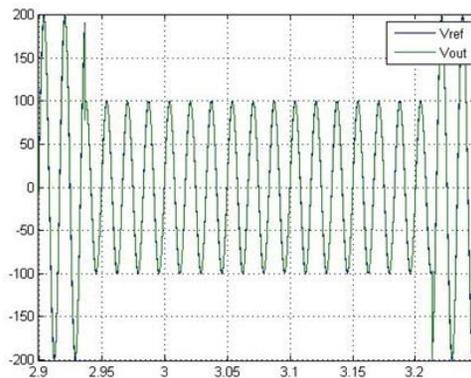


Figura 13. Simulación del inversor del sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento, frente variación de voltaje en convertidor elevador.

**Projeto e simulação do sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento**

Esta seção apresenta dois modelos de sistema fotovoltaico, que foram analisados os seguintes elementos: arranjo de módulos fotovoltaicos, sistema de inversor, filtro e armazenamento DC-AC boost conversor DC-DC conversor buck guincho DC-DC, no entanto diferem no desempenho devido a:

- primeiro modelo será considerado como a disposição dos módulos de entregar a energia gerada para o sistema de armazenamento constituído por baterias e carregamento fazer uso de apenas esta energia.
  - segundo modelo considera-se que tanto o arranjo dos módulos de armazenamento e sistema fornecer a potência requerida pela carga.

### Sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento, primeiro modelo.

A configuração deste modelo é apresentada na Figura 14.

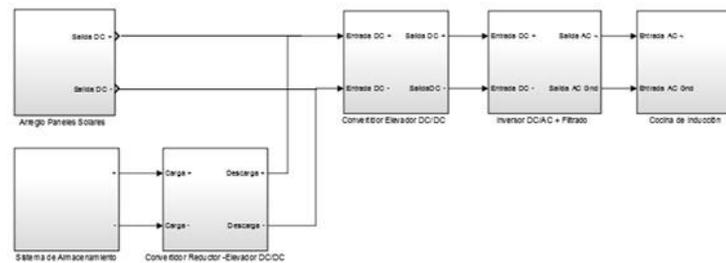


Figura 14. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, primer modelo.

### Disposición de panel de proyecto

A distribuição dos módulos está em paralelo com três módulos ligados em série e uma potência total de 646 W.

### Armazenamento System Design

Como a carga consome 21.6 A (condições de projeto), a bateria tem escolhido  $CBAt = 131.6Ah$  (Tabela 2), em seguida, uma bateria pode fornecer a corrente para o sistema pelo tempo mencionado, assim que você deve dimensionar o sistema de alimentação durante um período de autonomia durante 1 dia. O cálculo é realizado por (6) por substituição dos valores obtidos na análise de carga (8), é obtida a taxa máxima de secreção de 70% da capacidade do sistema de armazenamento de 472 Ah.

O número de baterias é calculado por (7), a distribuição do sistema de armazenamento gratuito é de 4 baterias conectados em paralelo com um  $C = 472 Ah$ , a capacidade de tensão nominal  $Vbat = 12V$ , que atendem durante 20 horas contínuas de consumir uma corrente  $IBAT = 26.3A$ .

O sistema de armazenamento tem uma taxa de descarga total depois de 22 horas, como mostrado na Figura 15. A recarga do sistema de armazenamento será, em um período de 12,44 horas, como pode ser visto na Figura 16.

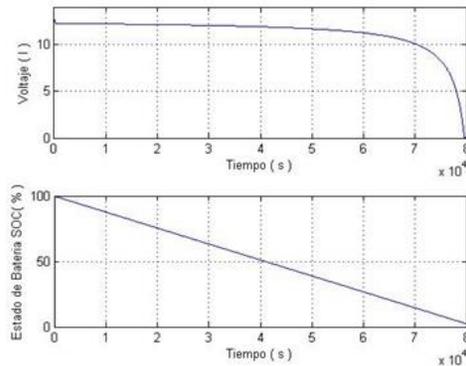


Figura 15. Estado de descarga del sistema de almacenamiento.

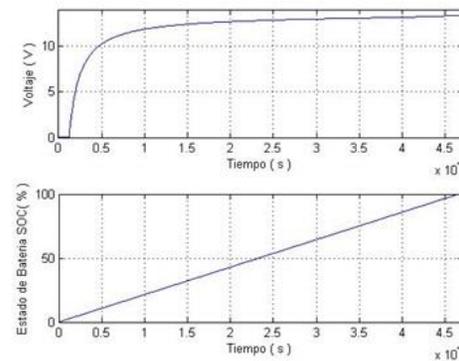


Figura 16. Estado de carga del sistema de almacenamiento.

### Conversores projeto de energia

Projeto DC-DC conversor boost é realizada pelas seguintes considerações:  $V_o = 200\text{ V}$ ;  $V_i = 120\text{ V}$ ;  $f = 20\text{ Khz}$  máxima ondulação de corrente 10% da corrente de saída; máxima tensão de ondulação de 1% da tensão de saída. À medida que os valores de indutância e capacitância são obtidos 900 uH e 1,000 uF, respectivamente.

17 mostra simulação de conversor ascendente, e no topo do que a corrente do conversor elevador de tensão e a corrente de entrada gerado pelo conversor Buck-impulso de saída é mostrado, enquanto que na tensão inferior mostrado aumentar a saída do conversor e a tensão de entrada, e observou-se que a  $t = 0,2$  segundos, a unidade atinge o valor de 200V.

Para a concepção do conversor buck-boost a seguinte consideração é feita:  $V_o = 120\text{ V}$ ;  $V_i = 17\text{ V}$ ;  $f = 20\text{ KHz}$ ; máxima ondulação de corrente 10% da corrente de saída; máxima tensão de ondulação de 1% da tensão de saída, em que a indutância e a capacitância seja de  $290\text{ uH}$  e  $500\text{ uF}$ , respectivamente.

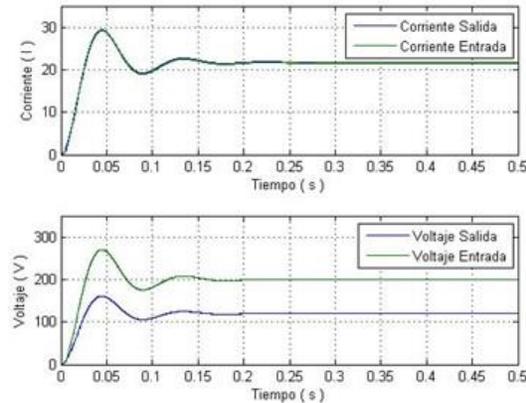


Figura 17. Simulación del convertidor elevador del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, primer modelo.

**Drivers de sistema de design**

Da mesma forma, para o projeto do sistema de armazenamento sem levantador planta (15) conversor eo conversor buck-boost (16) é obtido.

$$Gp(s) = \frac{-0.01625 s + 200}{2.5 \times 10^{-6} s^2 + 8.127 \times 10^{-5} s + 1} \tag{15}$$

$$G(s) = \frac{-0.1131 s + 120}{1.45 \times 10^{-5} s^2 + 0.0009428 s + 1} \tag{16}$$

Também por o segundo método de Ziegler-Nichols é a função de transferência do controlador. Em (17) e (18) o conversor boost eo conversor buck-boost, respectivamente, são apresentados.

$$Gc(s) = \frac{1.717s^2 + 912.6 s + 1.067 \times 10^5}{s^2 + 3.94 \times 10^4 s} \tag{17}$$

$$Gc(p) = \frac{0.0005315 s + 0.03928}{s} \tag{18}$$

O diagrama de blocos das Figuras 18 e 19 representam a  $G_p(s)$  sistemas de circuito fechado em série com o controlador PID planta  $G_c(s)$ , com feedback unidade, a upconverter e conversor respectivamente.

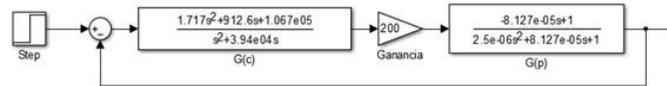


Figura 18. Diagrama de Blocos Controlador PI  $G(c)$  y Planta  $G(p)$ , para convertidor elevador de 120 VDC a 200 VDC.



Figura 19. Diagrama de Blocos Controlador PID  $G(c)$  y Planta  $G(p)$ , convertidor reductor-elevador 17 VDC-120 VDC.

Na Figura 20 pode-se ver que enfrentam as diferentes variações de tensão de impulso Buck-conversor, o controlador de estabiliza o sinal de tensão do conversor ascendente para alcançar 200V regime estável.

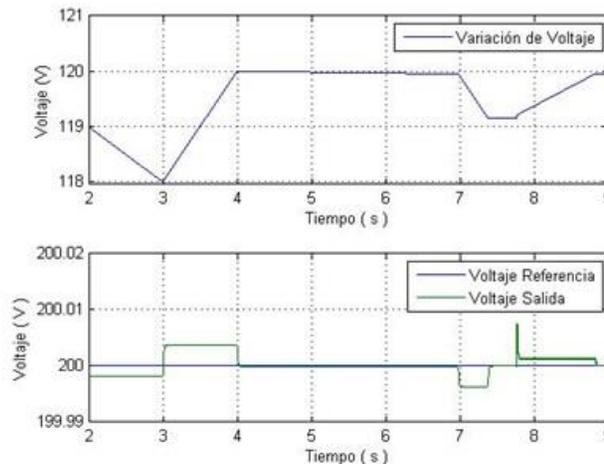


Figura 20. Simulación del Convertidor Elevador del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento primer modelo, frente variacion de voltaje.

Na Figura 21 pode-se ver que enfrentam as diferentes variações de tensão do sistema de armazenamento, o controlador de estabiliza o sinal de tensão do conversor Buck-impulso, até um valor estável de 120V.

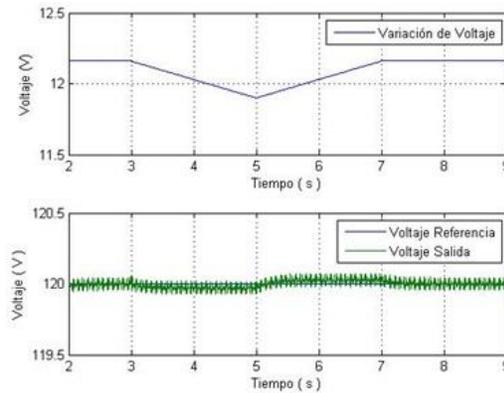


Figura 21. Simulación del convertidor reductor-elevador del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento primer modelo, frente variacion de voltaje.

**Sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento, segundo modelo.**

A configuração deste modelo é apresentado na Figura 22.

**Disposição de painel de projeto**

Sob as condições acima mencionadas, é obtido um número total de seis módulos fotovoltaicos, a distribuição destes será em três módulos ligados em paralelo, com três módulos ligados em série e uma potência total de 968 W.

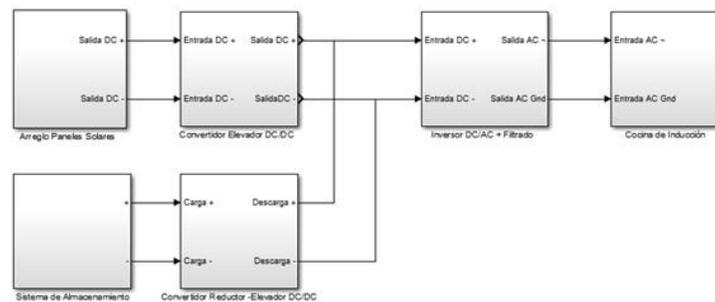


Figura 22. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, segundo modelo.

**Conversores projeto de energia**

Projeto DC-DC conversor boost é realizada pelas seguintes considerações:  $V_{o1}=80v$ ;  $V_{i1}=17v$ ;  $V_{o2}=200v$ ;  $V_{i2}=80v$ ;  $f=20Khz$ ; máxima ondulação de corrente 10% da corrente de saída; flutuações da tensão máxima de 1% da tensão de saída, sendo a capacitância e indutância para os dois conversores conectados em cascata, obtendo-se os seguintes valores para o primeiro conversor  $C=520\ uF$  y  $L=300\ uH$ , e o segundo conversor  $C=400\ uF$  y  $L=1090\ uH$

A figura 23 mostra simulação de conversor ascendente em cascata, na parte superior da figura, a corrente de saída do conversor elevador de tensão e a corrente de entrada gerado pelo arranjo do painel mostrado, enquanto a parte inferior mostra o impulso de tensão de saída do conversor e a tensão de entrada gerado pela disposição de painel também mostra que em  $t = 0,1$  s, a unidade atinge o valor 200.4V. Para a concepção do conversor buck-impulsionar a seguinte consideração é feito:  $V_o = 200\text{v}$ ;  $V_i = 12\text{V}$ ;  $F = 20$  kHz; máxima ondulação de corrente 10% da corrente de saída; flutuações da tensão máxima de 1% da tensão de saída, para o qual a capacitância e indutância do inversor são:  $C=325$  uF y  $L=650$  uH.

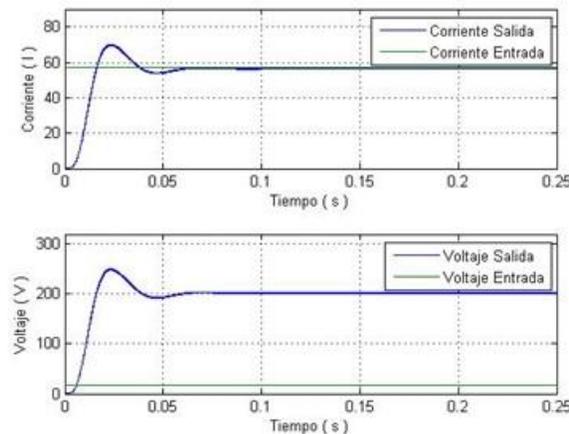


Figura 23. Simulación del Convertidor Elevador del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, segundo modelo.

A Figura 24 mostra a simulação do conversor buck-boost; na parte superior da figura, a corrente do conversor mostrado no passo e elevar a corrente de entrada gerado pelo sistema de armazenamento, enquanto que a saída na parte inferior da tensão de saída do conversor ilustrado na etapa levantamento e entrada de tensão gerado pelo sistema de armazenamento. A figura mostra que em  $t = 0,35$  s, o conversor buck-boost atinge o valor de 200.2V.

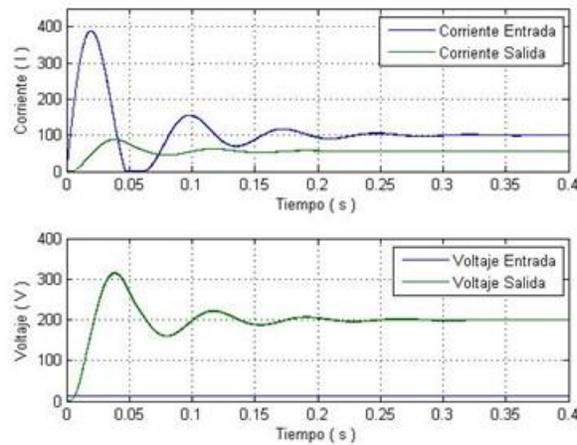


Figura 24. Simulación del Convertidor Reductor - Elevador, Etapa Elevación del sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, segundo modelo.

**Drivers de sistema de design**

Também é planta conversor ascendente (19), e para a redução de conversor ascendente (20).

$$Gp(s) = \frac{-0.108 s + 80}{3.455 \times 10^{-6} s^2 + 0.00135 s + 1} \tag{19}$$

$$Gp(s) = \frac{-1.929 s + 200}{2.924 \times 10^{-5} s^2 + 0.009143 s + 1} \tag{20}$$

Além disso, o controlador de upconverter funções de transferência e conversor buck-boost são apresentados em (21) e (22) respectivamente.

$$Gc(s) = \frac{0.001622 s + 0.2456}{s} \tag{21}$$

$$Gc(s) = \frac{0.002 s + 0.1041}{s} \tag{22}$$

O diagrama de blocos das Figuras 25 e 26 representam a  $Gp(s)$  sistemas de circuito fechado em série com o controlador de elevador  $Gc$ -reductor planta PID respectivamente (s), com feedback unidade, e conduzir o upconverter.

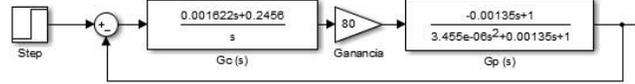


Figura 25. Diagrama de Bloques Controlador PI G(c) y Planta G (p), para convertidor elevador de 17 V a 200 V.

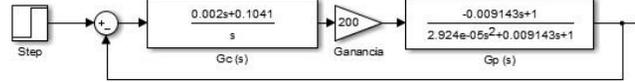


Figura 26. Diagrama de Bloques Controlador PID G(c) y Planta G (p), convertidor reductor-elevador 12 VDC a 200 VAC.

Na Figura 27 pode-se ver que enfrentam as diferentes variações da radiação solar o controlador estabiliza o sinal de tensão do conversor ascendente para atingir um valor estável 200V.

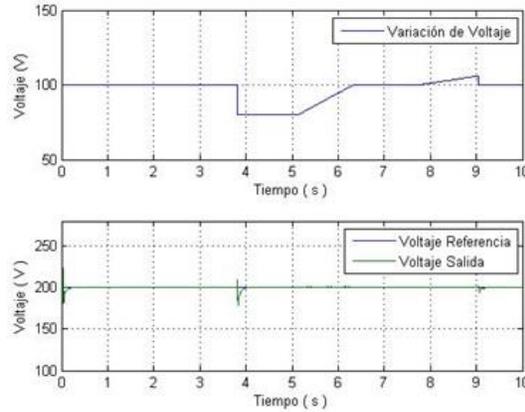


Figura 27. Simulación del Convertidor Elevador, segundo modelo frente variación de radiación solar.

Na Figura 28 pode-se ver que enfrentam as diferentes variações de tensão do sistema de armazenamento, o controlador de estabiliza o sinal de tensão do conversor Buck-impulso, até um valor estável 200V.

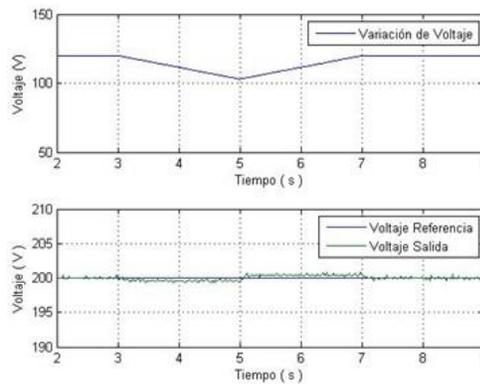


Figura 28. Simulación del Convertidor Reductor - Elevador, Elevación, frente variación de voltaje en sistema de almacenamiento.

**Cálculo da eficiência**

A eficiência dos dispositivos que constituem cada um dos sistema concebido é calculado a partir do início de um desempenho máximo. Para um circuito sem perdas podem ser encontrados eficiência por (23) e (24).

$$P_{in} = P_{out} \tag{23}$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{24}$$

- Sistema fotovoltaico sem sistema de armazenamento: Eficiência 89.44 %.

Tabla III. Eficiencia sistema fotovoltaico sin sistema de almacenamiento

No.	Dispositivo	Potencia Entrada (W)	Potencia Salida (W)	Eficiencia (%)
1	Arreglo de Paneles	No aplica	1375.1308	
2	Convertidor Elevador [52Vdc-200Vdc]	1375.1308	1355.4251	98.567
3	Inversor [200Vdc-120Vac]	1355.4251	1328.1268	97.986

- Sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento, primeiro modelo: Eficiência 85.53 %.

Tabla IV. Eficiencia sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, primer modelo.

No.	Dispositivo	Potencia Entrada (W)	Potencia Salida (W)	Eficiencia (%)
1	Arreglo de Paneles	No aplica	1375.130	
2	Convertidor Elevador [52Vdc-200Vdc]	1375.130	1327.589	96.54
3	Inversor [200Vdc-120Vac]	1327.589	1230.011	92.65

- Sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento, segundo modelo: Eficiência 86.66 %.

Tabla V. Eficiencia sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento, segundo modelo.

No.	Dispositivo	Potencia Entrada (W)	Potencia Salida (W)	Eficiencia
1	Arreglo de Paneles	No aplica	989.712	
2	Convertidor Reductor-Elevador [12Vdc-200Vdc]	No aplica	975.133	
2	Convertidor Elevador [12Vdc-200Vdc]	989.712	925.776	93.54
3	Inversor [200Vdc-120Vac]	925.776	857.73	92.65

**Discussão e conclusões**

Ao analisar as simulações foi verificado que o projeto feito para sistemas fotovoltaicos com e sem sistema de armazenamento atender os parâmetros propostos. Os modelos matemáticos obtidos para as unidades de poder de cada sistemas de projeto permitidos controladores de tensão, que têm um bom desempenho contra as perturbações aplicadas, atingindo estabilizado contra variações de voltagem produzida pelo conjunto de painéis fotovoltaicos.

A integração de um sistema baseado baterias de armazenamento em sistema fotovoltaico representa um benefício a qualquer momento precisam de energia, mesmo que o acordo não produz painéis fotovoltaicos de energia.

Os resultados obtidos por simulações mostra que o sistema fotovoltaico sem sistema de armazenamento tem uma eficiência de aumento de 89,44% em comparação com os dois modelos de sistema fotovoltaico com sistema de armazenamento (86,66%), no entanto, o segundo modelo tem a vantagem de operar em qualquer hora do dia, assim que esta seria a melhor escolha ao fazer uma implantação.

Para o trabalho futuro pode ser considerado um inversor de duas fases na adaptação de fogões de indução que oferecem casas comerciais no Equador e que estão dentro da potência gerada pelo sistema fotovoltaico, adicionalmente, pode fazer a medição dos parâmetros de qualidade de energia AC, que forneçam informação para possíveis mudanças na concepção de dispositivos para ajudar a melhorar o desempenho do sistema.

**Agradecimentos**

Este estudo foi realizado com o apoio da Universidade das Forças Armadas -ESPE pelo projeto de pesquisa "Projeto e Simulação de uma Geração de Energia Energia Solar Fotovoltaica sistema baseado em com e sem sistema de armazenamento de energia para cozinha indução magnética".

## Bibliografía

- A. Abreu (2005). Calidad de Potencia Eléctrica en Redes de Distribución. Venezuela, p. 124.
- A. Hermosa (2011). Electrónica Aplicada. España: Marcombo, S.A, p. 69.
- A. Pozo (2011). Convertidores Conmutados de Potencia. Test de Autoevaluación. Barcelona, España: Marcombo, S.A, p. 214.
- C. Solanski (2011). Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technologies and Applications, Second Edi. India: Prentice-Hall, p. 512.
- D. Hart (2001). Electrónica de Potencia. Madrid, España: Pearson Educación, S.A, p. 323.
- G. Garcerá (1998). Conversores conmutados: circuitos de potencia y control. Valencia, España: Camino de Vera, p. 76.
- Izquierdo (2008). “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” [Online]. Available: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)
- J. Valentín (2012). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. San Sebastián, España: Donostierra, p. 32.
- K. Ogata (2010). Ingeniería de Control Moderna, 5a ed. España, p. 570.
- L. Prat (1999). Circuitos y Dispositivos Electrónicos: Fundamentos de Electrónica. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya, p. 463.
- M. García (1999). Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo. Madrid, España: IEPALA Editorial, p. 62.
- M. H. Rasid (2004). Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones, Third Edit. Mexico: Pearson Educación, p. 33.
- M. Pareja (2010). Energía Solar Fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada, Second Edi. Barcelona, España: Marcombo, S.A, p. 200.
- N. Mohan (2010). Electrónica de Potencia, Convertidores, aplicaciones y diseño., 3<sup>a</sup>. ed. Monterrey, Mexico: McGraw Hill, pp. 176–191.
- O. Style (2012). Energía solar autónoma, Oliver style. E.U: Paperback, p. 50.
- R. Cerrano (2013). Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador. p. 42.
- R. Correa (2013). “Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013, Estrategias para el Buen Vivir, Estrategia 7, Cambio de la Matriz Energética” <http://plan.senplades.gob.ec/estrategia7>.

- R. Teodorescu (2011). Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems. New Delhi, India, p. 416.
- S. Ang (2005). Power-Switching Converters, second edition. E.U: CRC Press, p. 18.
- Ultracell (2013). “Batería 12V 150Ah Ultracell UCG 150-12 AGM Ciclo Profundo,” [Online]. Available: <http://www.digishop.cl/index.php?a=851>.