

Seminario de Graduación
“Convertidores Estáticos para Fuentes de Energía Renovables”

**DISEÑO DEL CONTROL Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN MÓDULOS
DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO
DESCONECTADO DE LA RED Y BATERÍAS COMO UNIDAD DE
ALMACENAMIENTO**

CHRISTIAN RONALD TUMBACO CHUMO
ROMÁN ISAAC PARRALES MOREIRA

DESCRIPCIÓN DEL TEMA DESARROLLADO

- ✓ El estudio consiste en dimensionar y diseñar los controladores de los dos Convertidores DC-DC, uno para los paneles fotovoltaicos y otro para las baterías, además de un Inversor DC-AC.
- ✓ Se ha desarrollado en base a un sistema monofásico, este sistema va a estar aislado (desconectado) de la red de energía eléctrica.
- ✓ Se desarrollaron los criterios y parámetros que se utilizan para poder hacer uso de este tipo de energía.
- ✓ Se utilizó la técnica del Factor K, además de la ayuda del software MATLAB/SIMULINK para diseñar los controladores y el análisis de señales.

MOTIVOS

- ✓ Uso de energía renovables cada vez mas frecuente.
- ✓ No se aprovecha de manera eficiente el total de la energía producida por los PV.
- ✓ Control que responda de manera optima a las diferentes variaciones que pueden existir en un sistema basado en PV.
- ✓ Ayudar a que este tipo de energía se desarrollen mas y que los sistemas electrónicos usados en estas tecnologías, sean mas eficientes.

SOLUCIÓN

- ✓ Diseñar un sistema de control para cada uno de los Convertidores DC-DC e Inversor DC-AC que responda a las variaciones que existen en este tipo de sistemas.
- ✓ Hacer uso de la potencia máxima dada por los PV, en todo instante de tiempo.
- ✓ Dimensionar cada uno de los elementos que conforman los convertidores e inversor, basados en un estudio de carga.

DIAGRAMA DEL SISTEMA DESARROLLADO

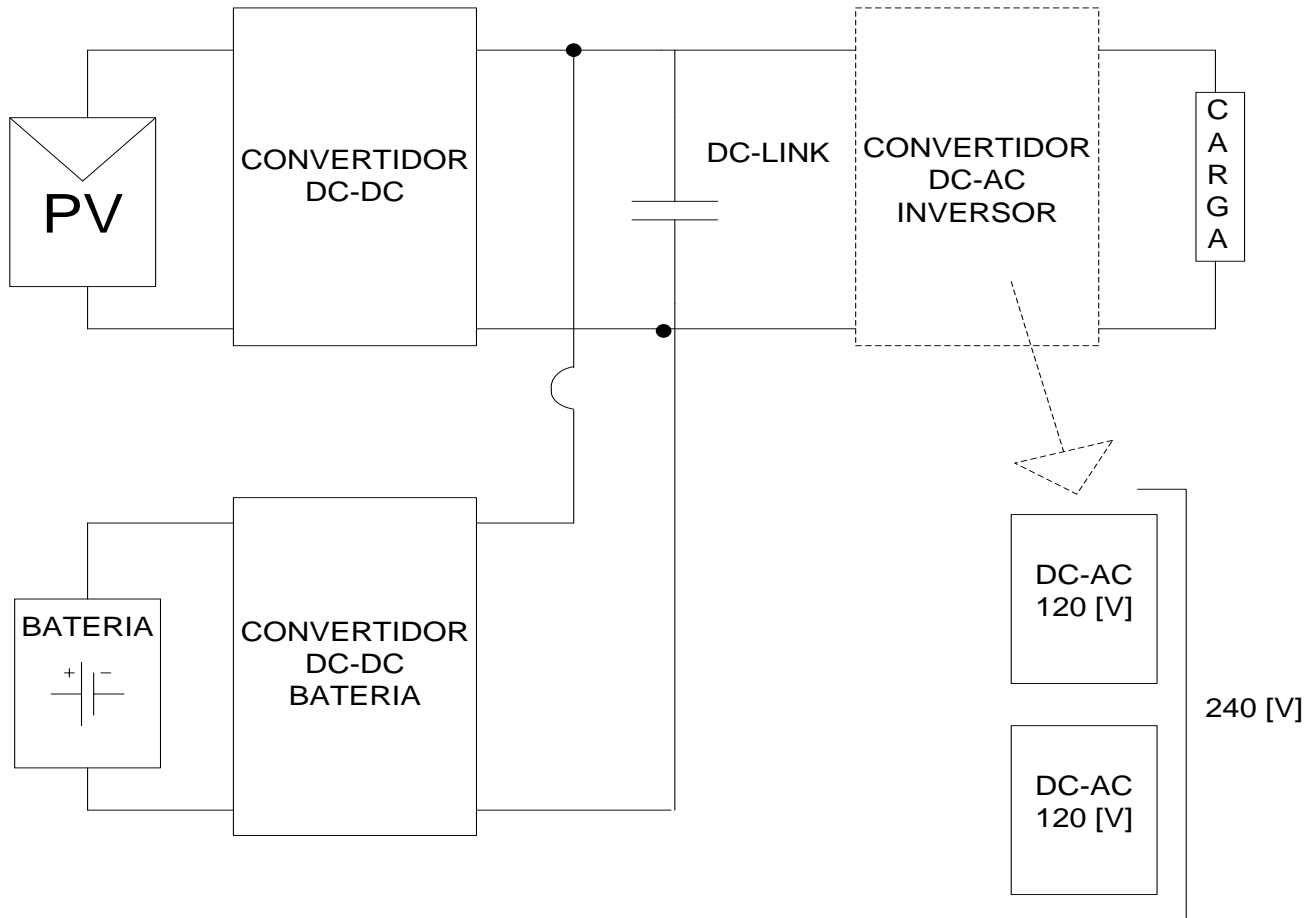
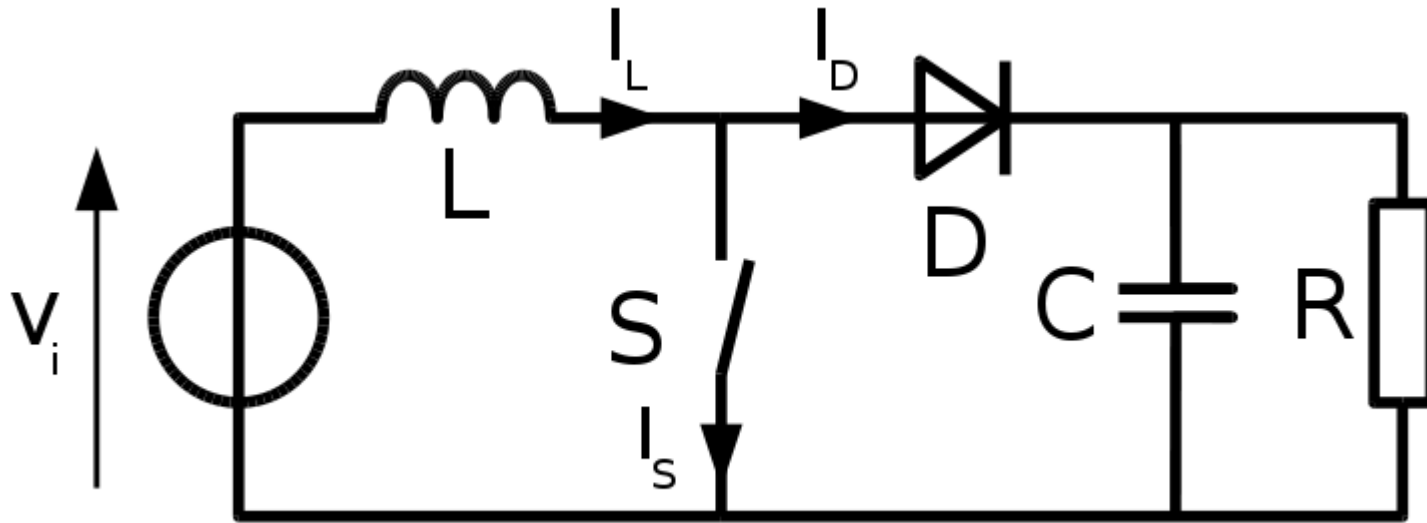


DIAGRAMA DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR

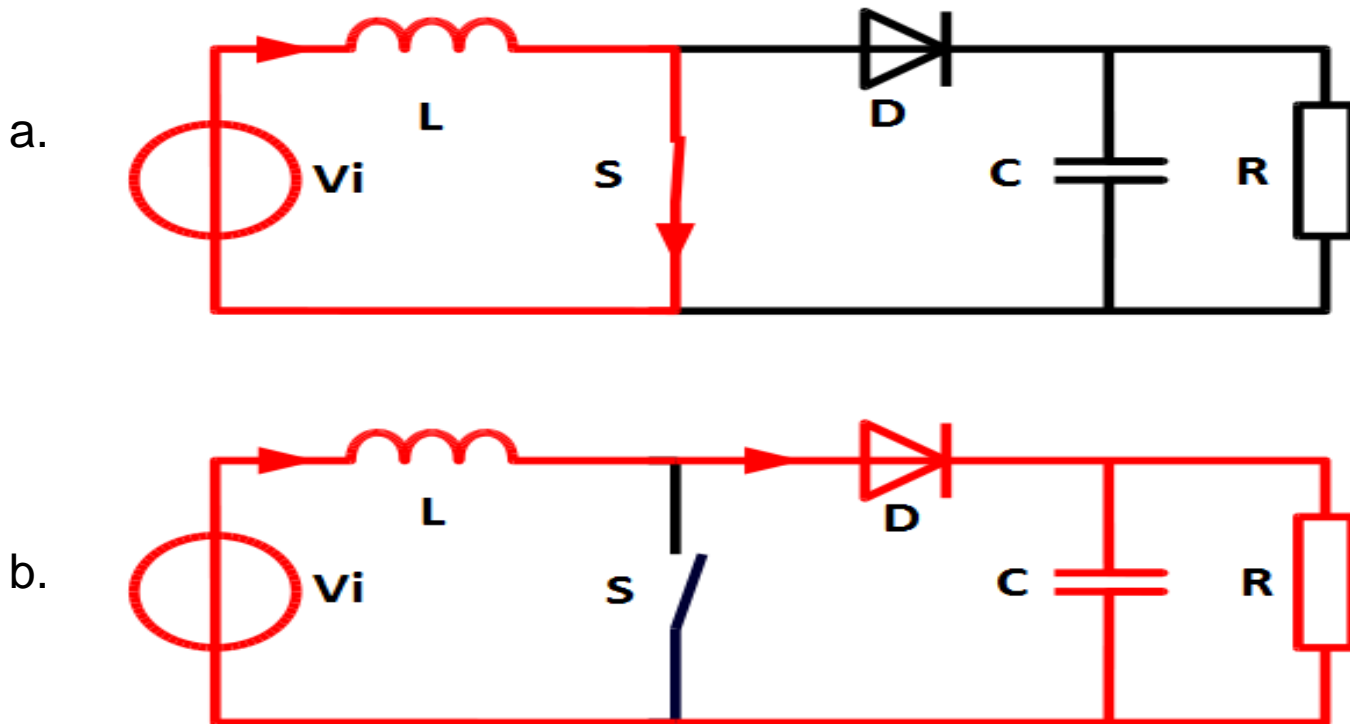
CONVERTIDOR DC-DC ELEVADOR



CIRCUITO EQUIVALENTE CONVERTIDOR DC-DC ELEVADOR

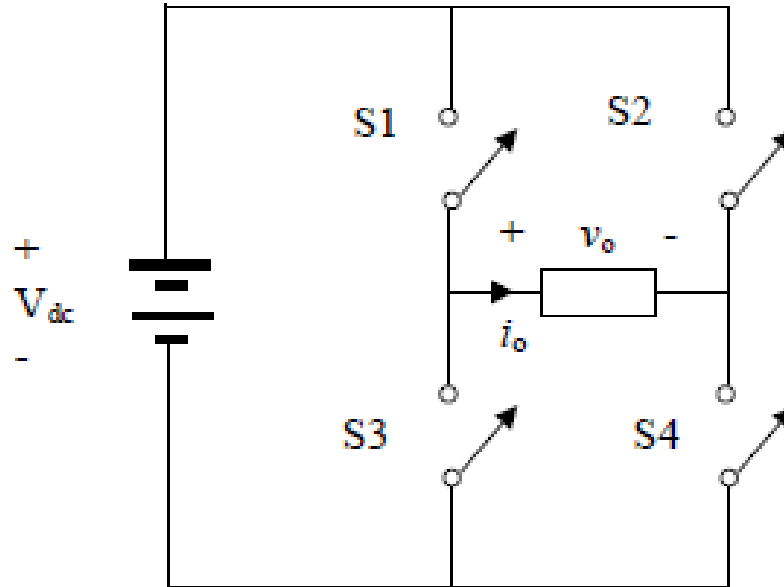
Es un convertidor de potencia que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada.

CONVERTIDOR DC-DC ELEVADOR



Las dos configuraciones de un Boost. (a) La energía se transfiere de la fuente a la bobina y del condensador a la carga. (b) la energía se transfiere de la fuente y de la bobina al condensador y a la carga.

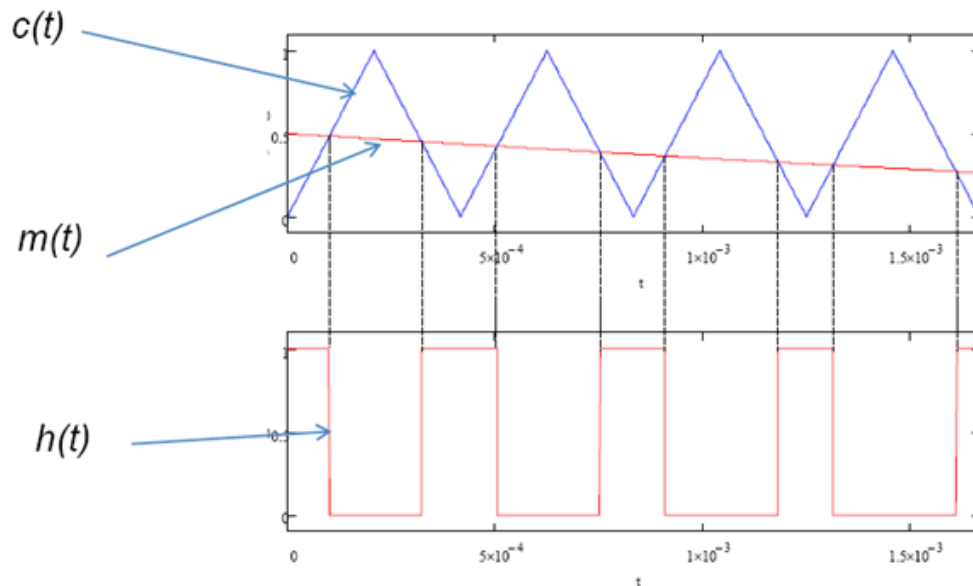
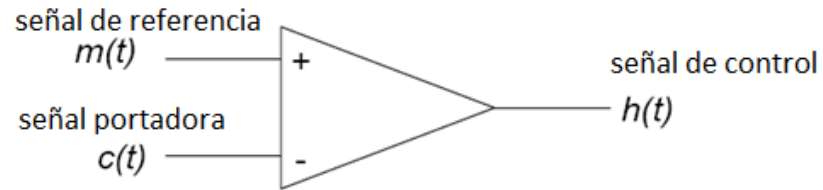
INVERSOR DC-AC



CIRCUITO INVERSOR DC-AC

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada.

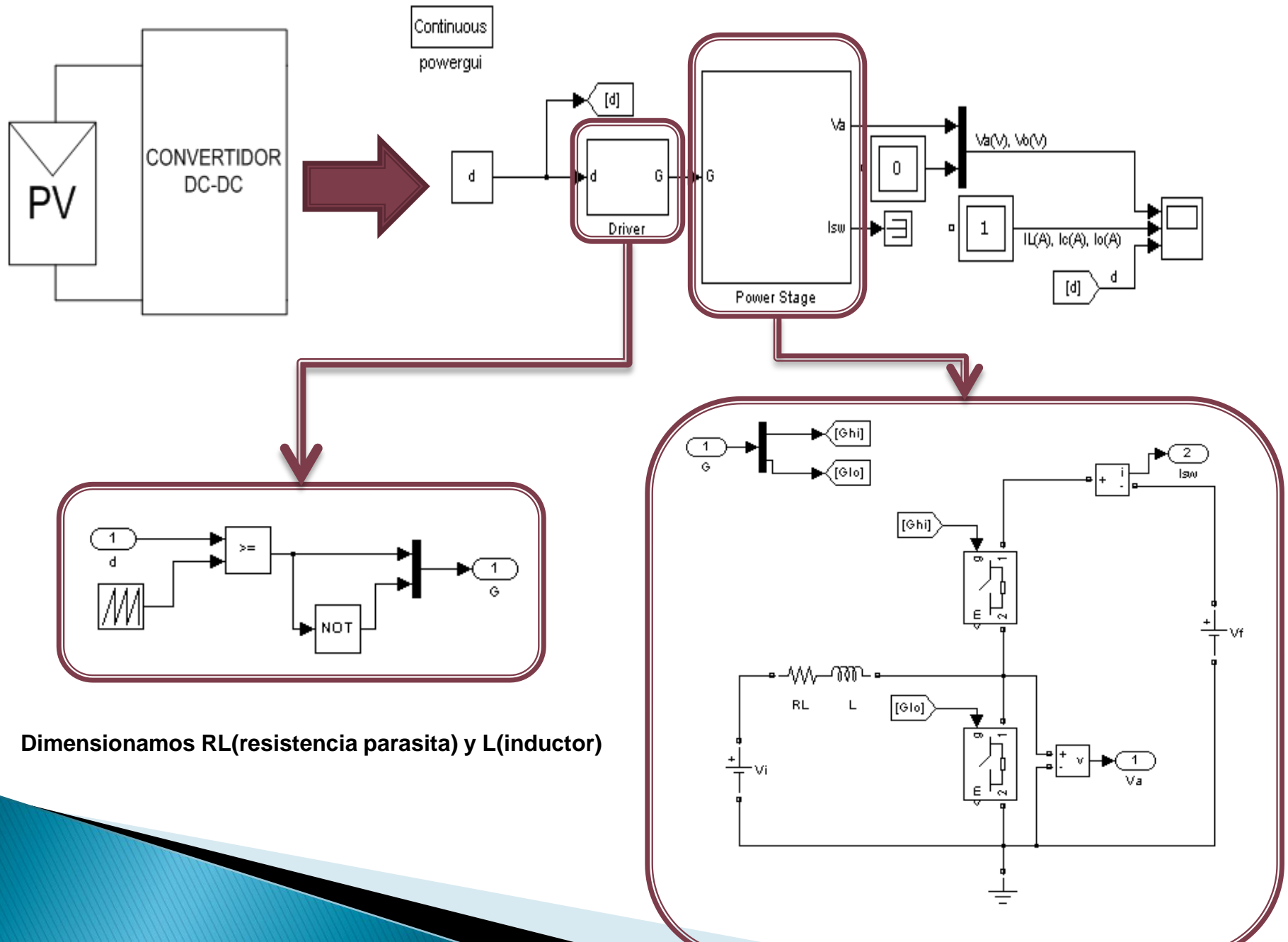
MODULACION PWM



SEÑALES PWM

- $c(t)$ diente de sierra para $m(t)$ DC
- $c(t)$ triangular para $m(t)$ AC

DIMENSIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PANEL FOTOVOLTAICO Y LA BATERIA



Dimensionamos R_L (resistencia parasita) y L (inductor)

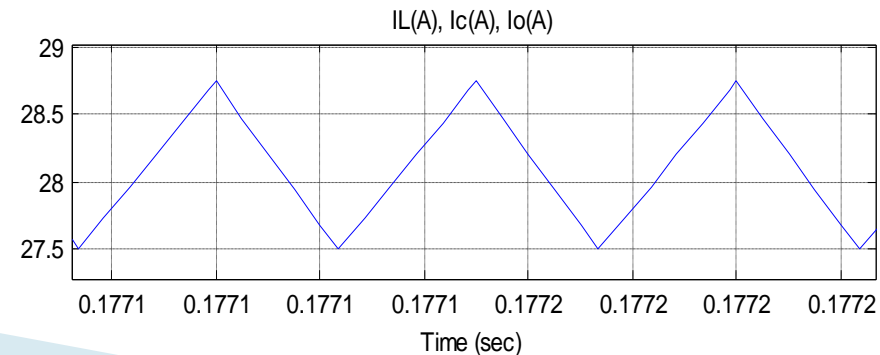
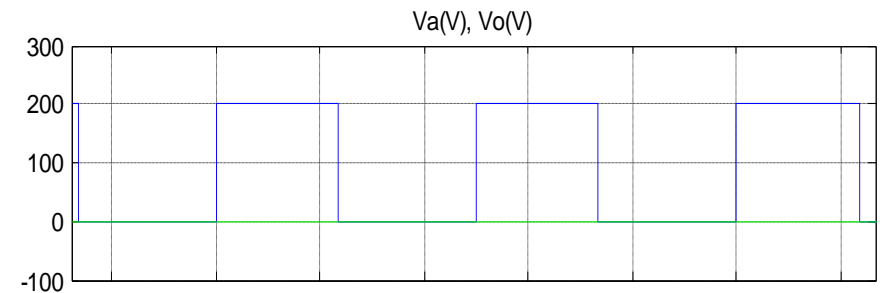
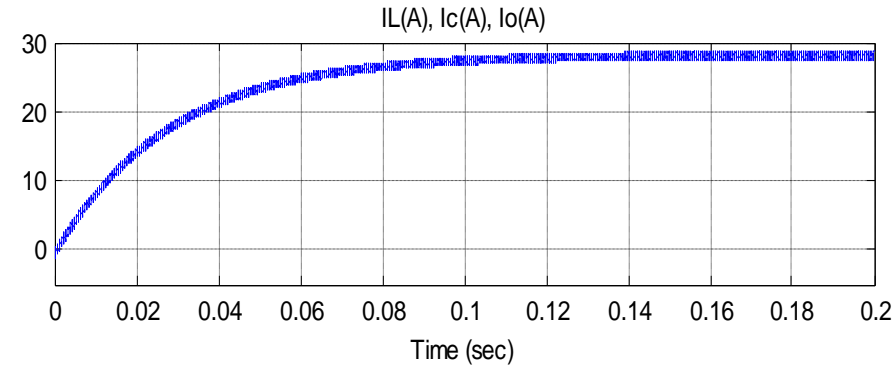
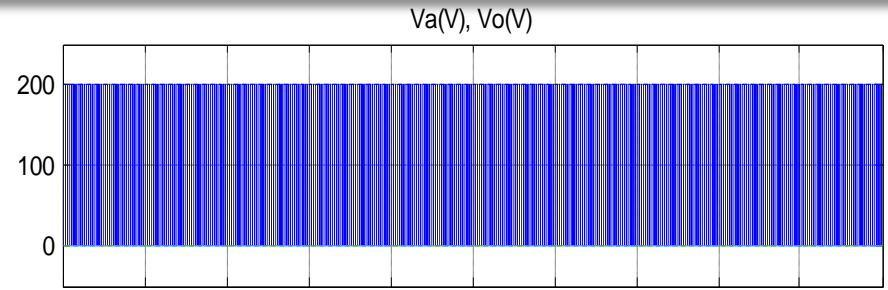
DIMENSIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PANEL FOTOVOLTAICO Y LA BATERIA

CICLO DE TRABAJO $\rightarrow d = \frac{V_i}{V_f} = \frac{96}{200} = 0.48$

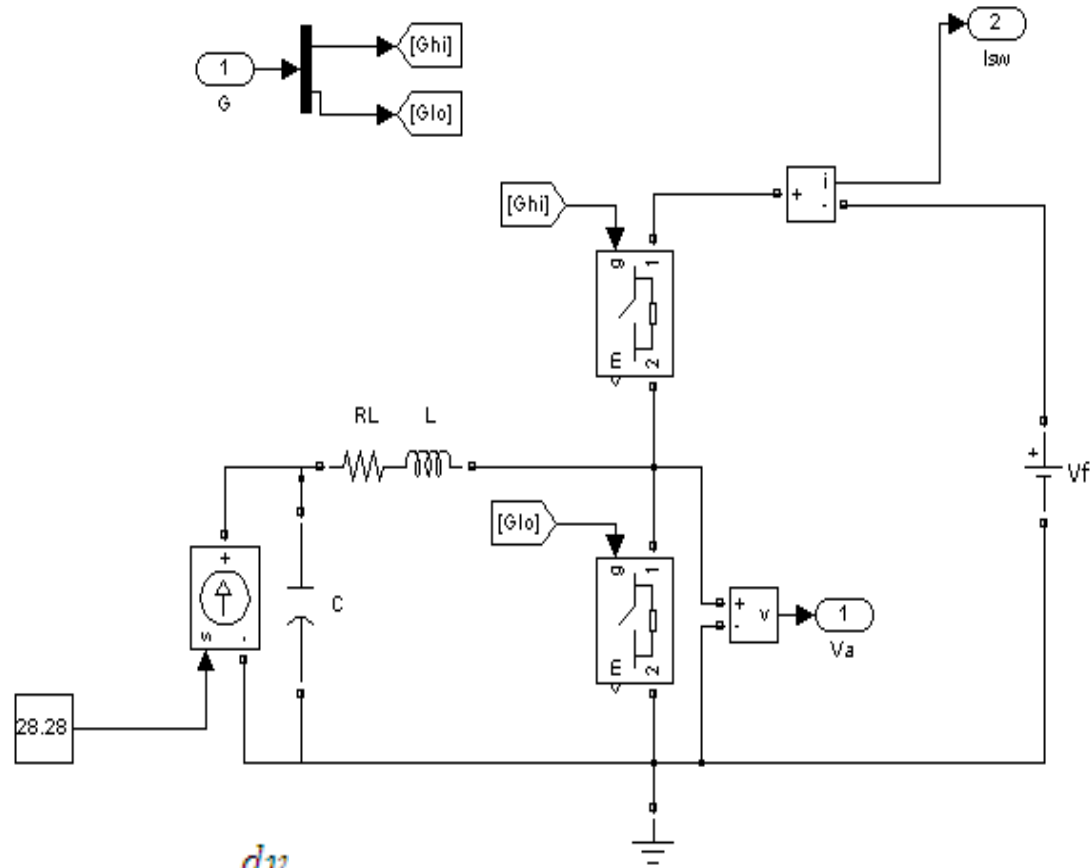
RESISTENCIA PARASITA $\rightarrow RL = \frac{V}{I} = \frac{2V}{28.28A} = 0.07[\Omega]$

INDUCTOR $\left\{ \begin{aligned} V_i &= L \times \frac{d_i}{dt} \\ \frac{V_i \times dt}{d_i} &= L \\ \frac{200 \times 0.0001}{3} &= L = 6.667[mH] \end{aligned} \right.$

$L = 2 [mH]$



SUBSISTEMA PARA DIMENSIONAR LA CAPACITANCIA DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PV



$$i_c = C \times \frac{dv}{dt}$$

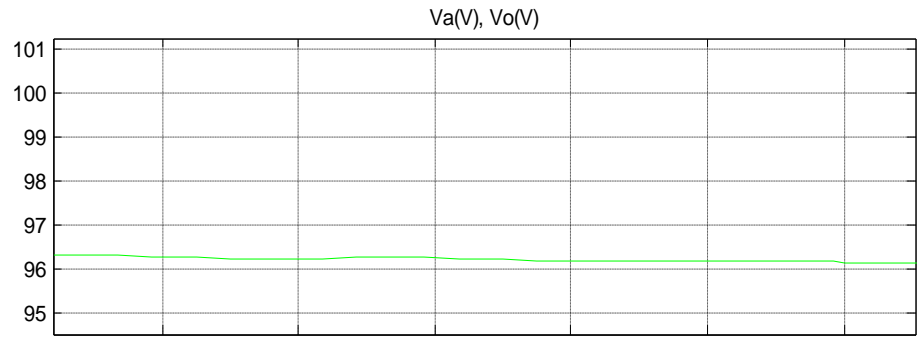
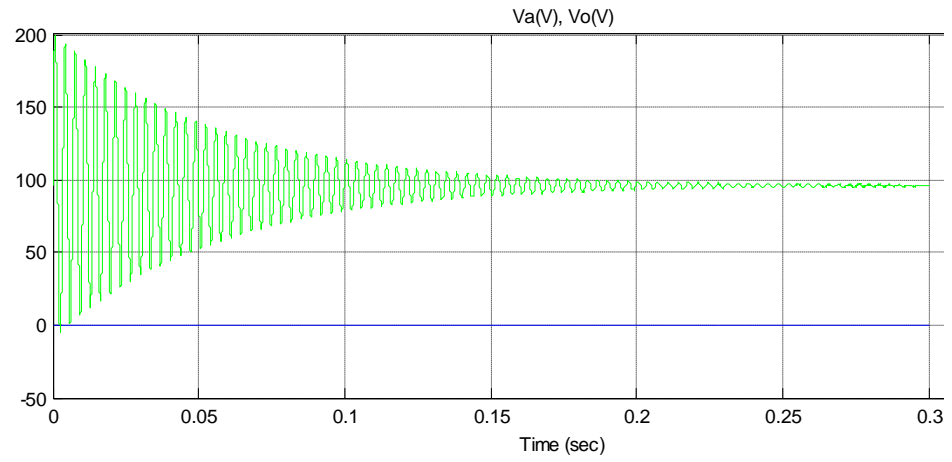
$$\frac{i_c \times dt}{dv} = C$$

$$\frac{30 \times 0.0001}{1} = C = 3[mF]$$

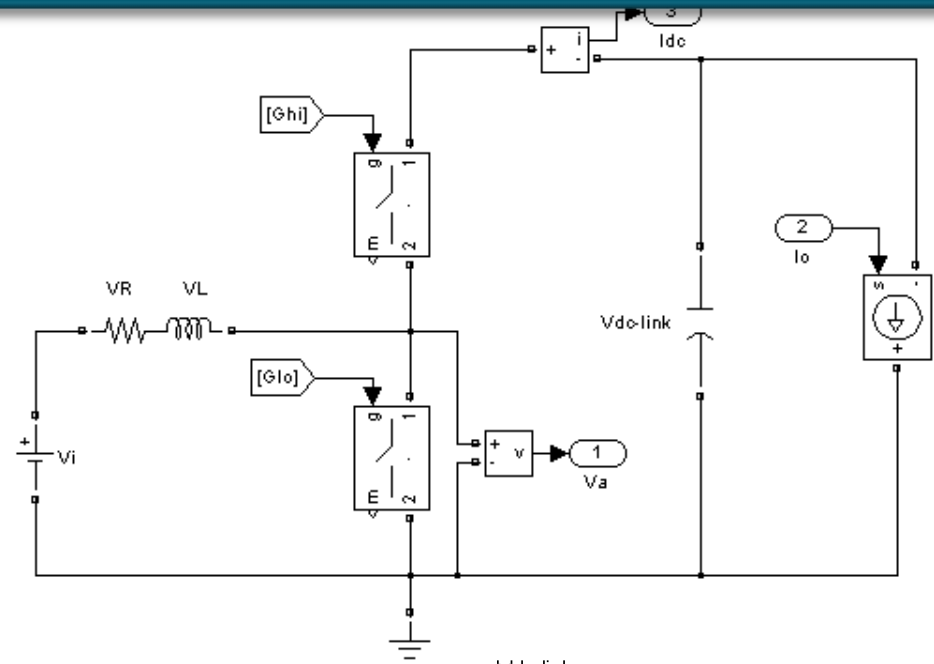
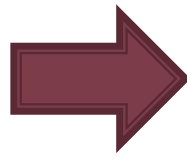
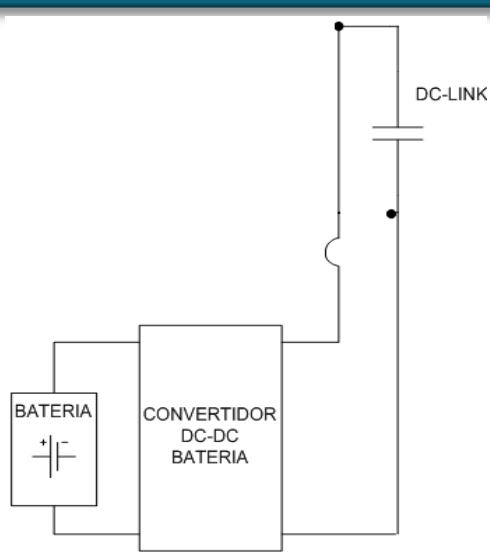


$$C = 175 [uF]$$

SEÑAL: VOLTAJE DEL CAPACITOR



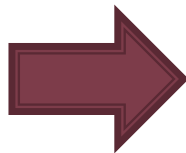
DIMENSIONAMIENTO DEL CAPACITOR DE ENLACE DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PANEL DE LA BATERIA



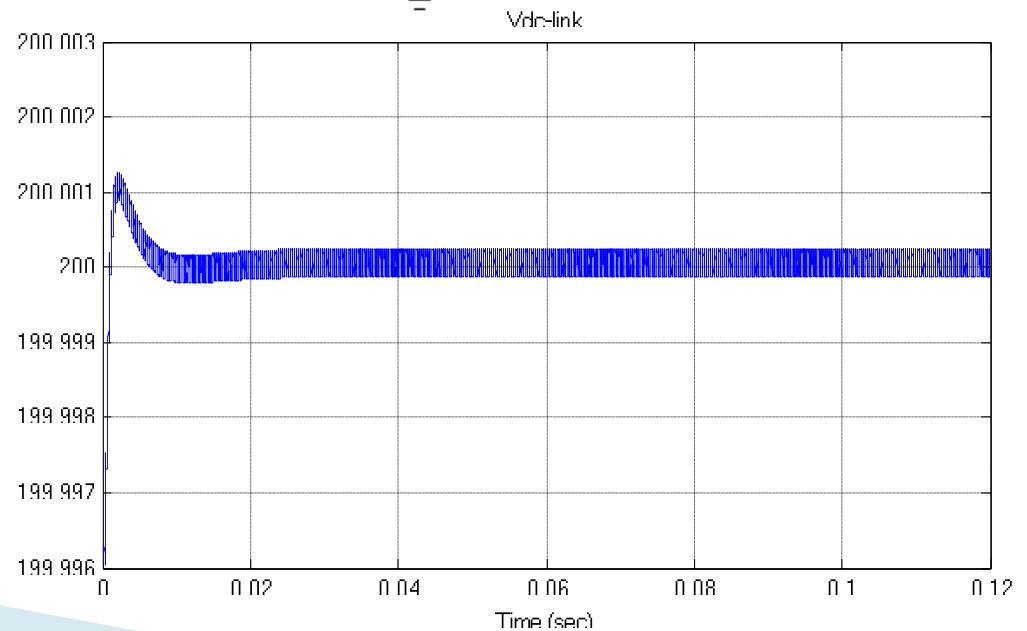
$$i_c = C \times \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{i_c \times dt}{dv} = C$$

$$\frac{15 \times 0.0001}{2} = C = 7.5 [mF]$$

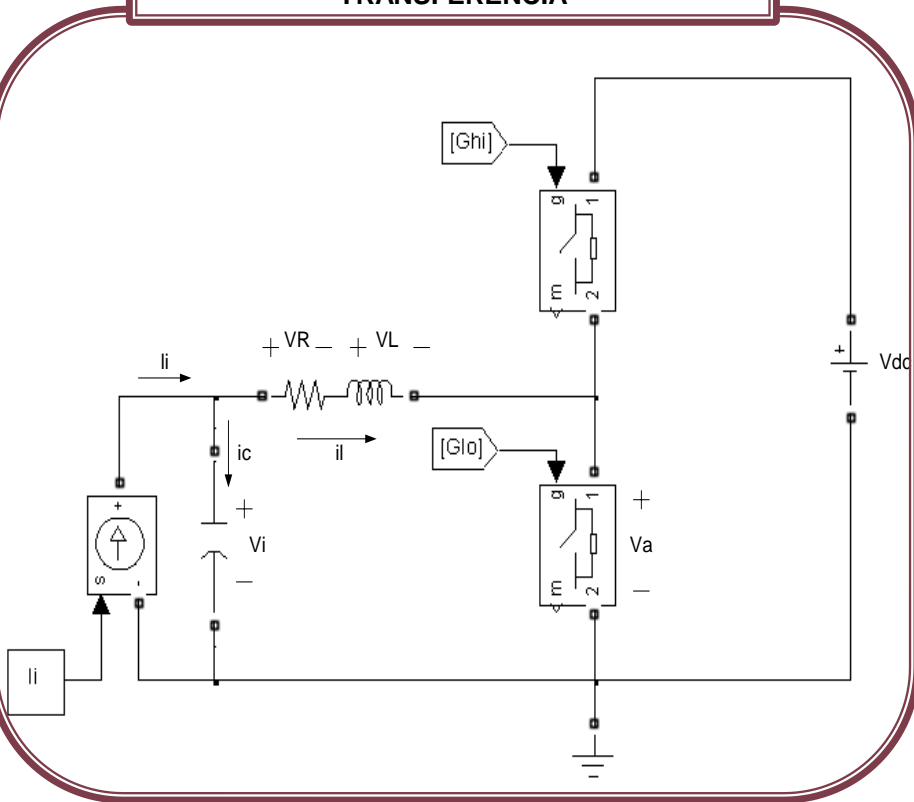


C = 10 [mF]



DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PANEL FOTOVOLTAICO

MODELO PARA ENCONTRAR LA FUNCION DE TRANSFERENCIA



ECUACIONES

$$V_a = (1 - d)V_{dc}$$

$$V_i = V_R + V_L + V_a$$

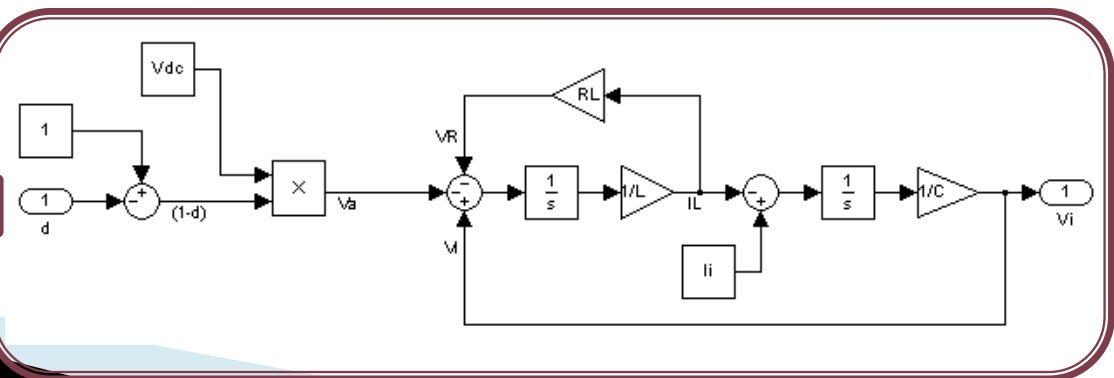
$$i_l = \frac{1}{L} \int V_L \cdot dt$$

$$V_R = i_l \times R L$$

$$i_c = l_i - i_l$$

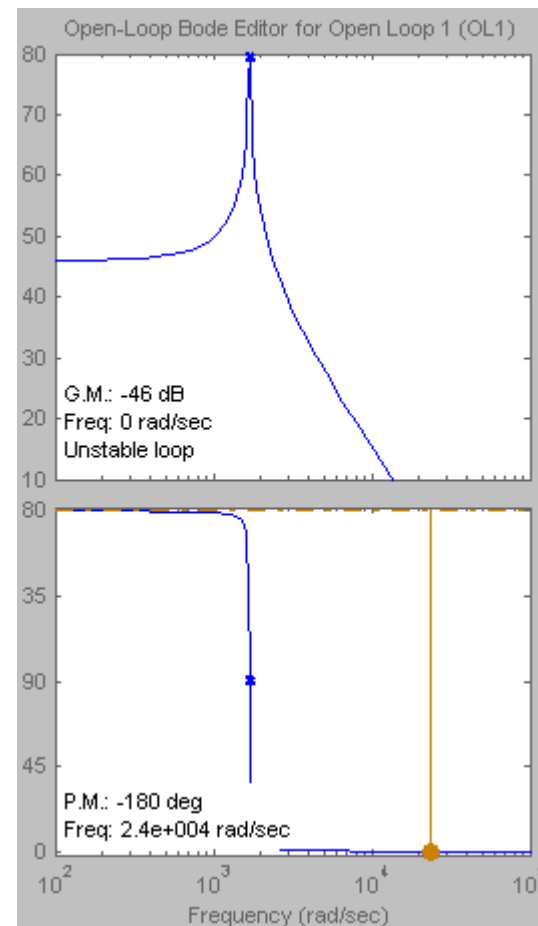
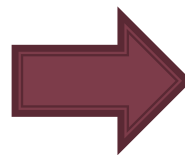
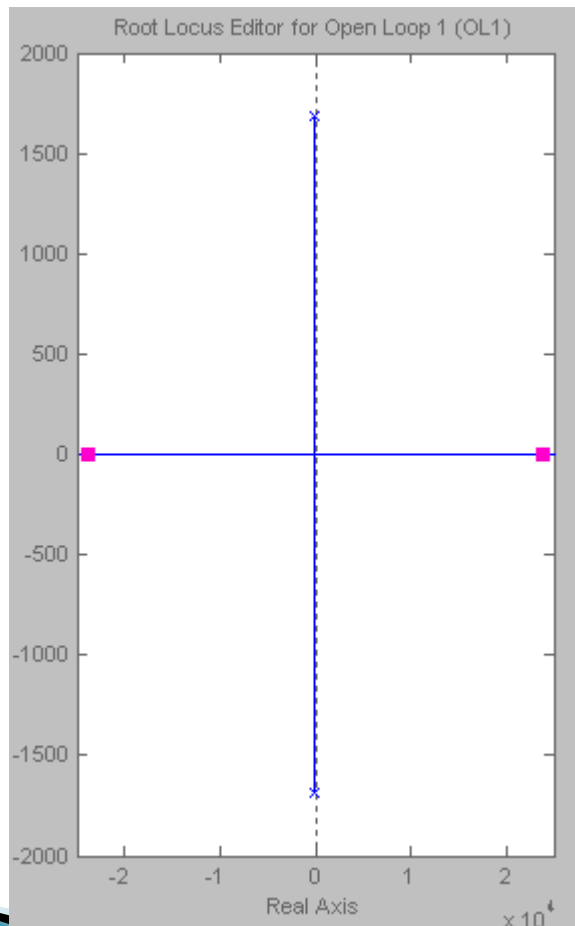
$$V_i = \frac{1}{C} \int i_c \cdot dt$$

DIAGRAMA DE BLOQUES

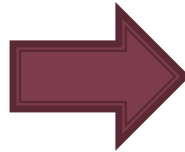


DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PANEL FOTOVOLTAICO

$$G_p = \frac{-V_{dc} \times W_n^2}{s^2 + \frac{1}{T_{au}}s + W_n^2} = \frac{V_i(s)}{d(s)} \quad \rightarrow \quad G_p = \frac{-5.714 \times 10^8}{s^2 + 35s + 2.857 \times 10^6}$$



ϕ_{boost}	Tipo de controlador
0°	Tipo 1
$< 90^\circ$	Tipo 2
$> 90^\circ$	Tipo 3



- **Tipo 1:** tiene una parte proporcional además de un polo en el origen.
- **Tipo 2:** posee una parte proporcional, un polo en el origen, un cero y un polo complejo conjugado.
- **Tipo 3:** posee una parte proporcional, un polo en el origen, dos ceros y dos polos complejos conjugados.

S
I
S
T
E
M
A

$$\phi_{boost} = PM \text{ deseado} - \phi_{sistema} - 90^\circ$$

$$\phi_{boost} = 60^\circ - (-180^\circ) - 90^\circ$$

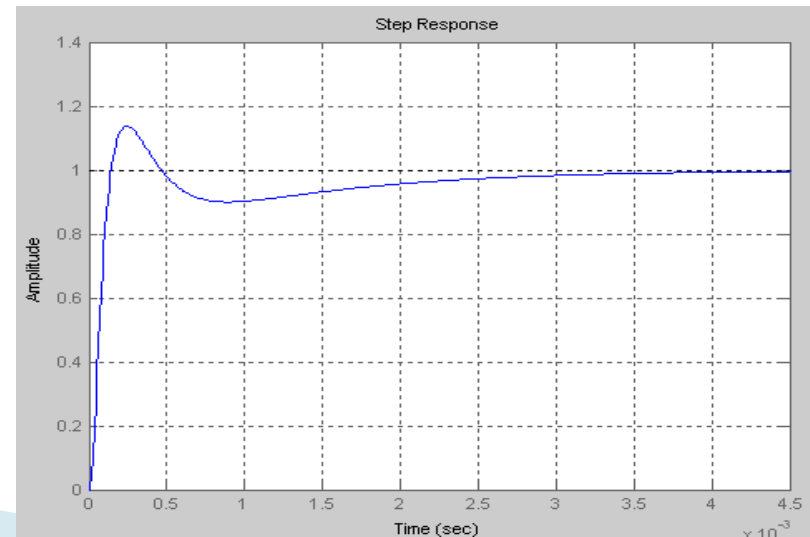
$$\phi_{boost} = 150^\circ$$



$$G_c(s) = \frac{K_c \left(1 + \frac{s}{w_z}\right)^2}{s \left(1 + \frac{s}{w_p}\right)^2}, \text{ tipo 3}$$

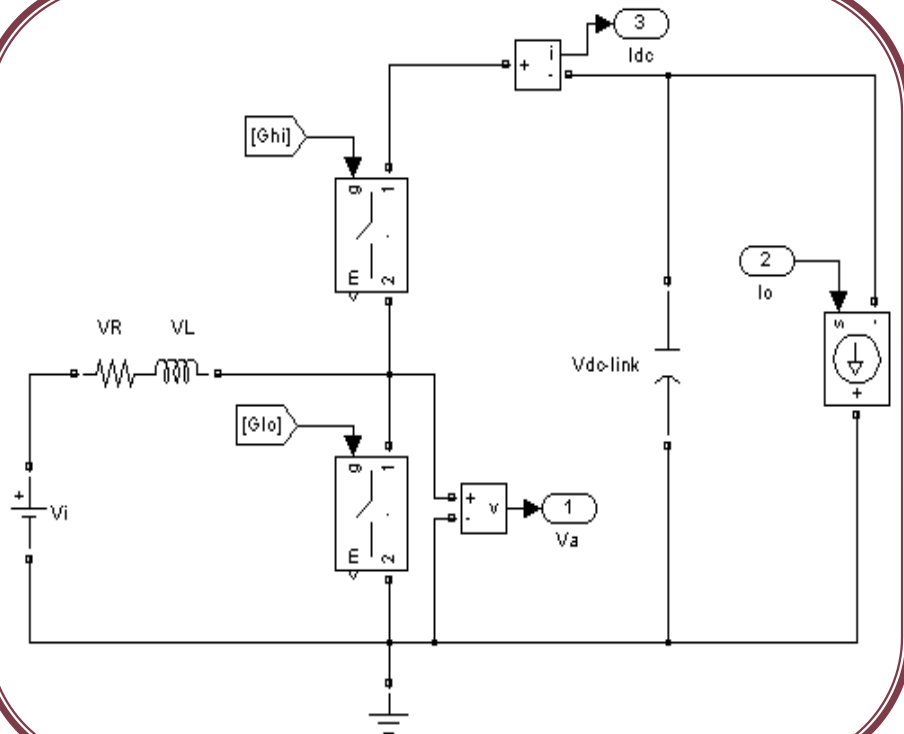


$$G_c(s) = \frac{-2.159 \times 10^5 s^2 - 0.07184s - 59.75}{1.11 \times 10^{-10} s^3 + 2.107 \times 10^{-5} s^2 + s}$$



DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-DC DE LA BATERIA

MODELO PARA ENCONTRAR LA FUNCION DE TRANSFERENCIA



ECUACIONES

$$V_i = V_R + V_L + V_a$$

$$V_a = d \times V_{dc}$$

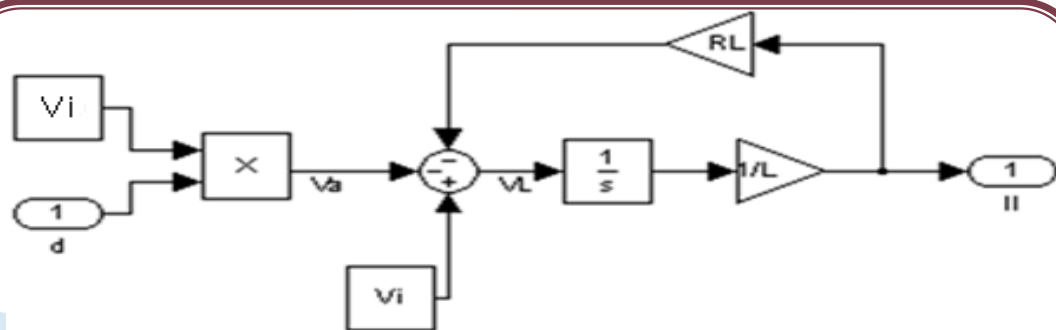
$$V_R = i_l \times R_L$$

$$V_L = L \times \frac{di_l}{dt}$$

$$i_l = \frac{1}{L} \int V_L dt$$

$$G_p = \frac{-V_{dc}}{Ls + RL} = \frac{IL(s)}{d(s)} \rightarrow G_{pi} = \frac{-V_{dc}}{L(s + \frac{RL}{L})}, \quad G_{pv} = \frac{V_i}{s}$$

DIAGRAMA DE BLOQUES



DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-DC DE LA BATERIA

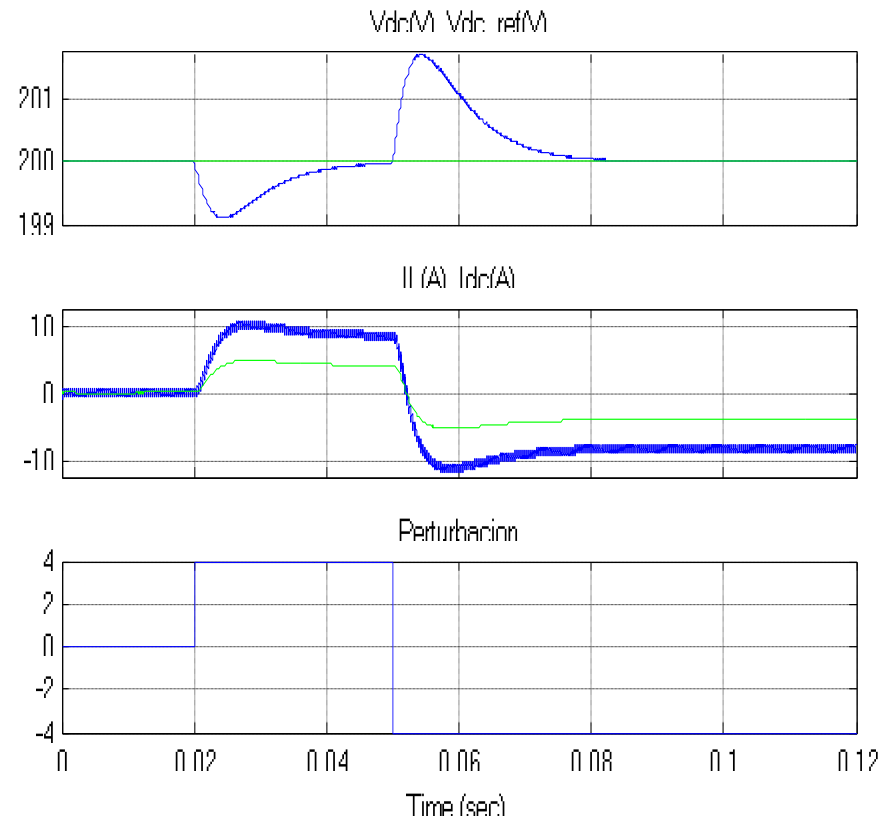
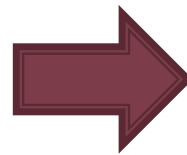
S
I
S
T
E
M
A

$$\begin{aligned}\phi_{boost} &= PM \text{ deseado} - \phi_{sistema} - 90^\circ \\ \phi_{boost} &= 60^\circ - (-90^\circ) - 90^\circ \\ \phi_{boost} &= 60^\circ\end{aligned}$$

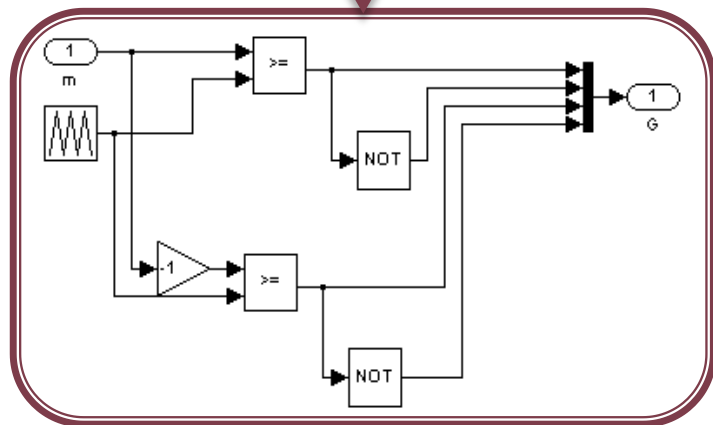
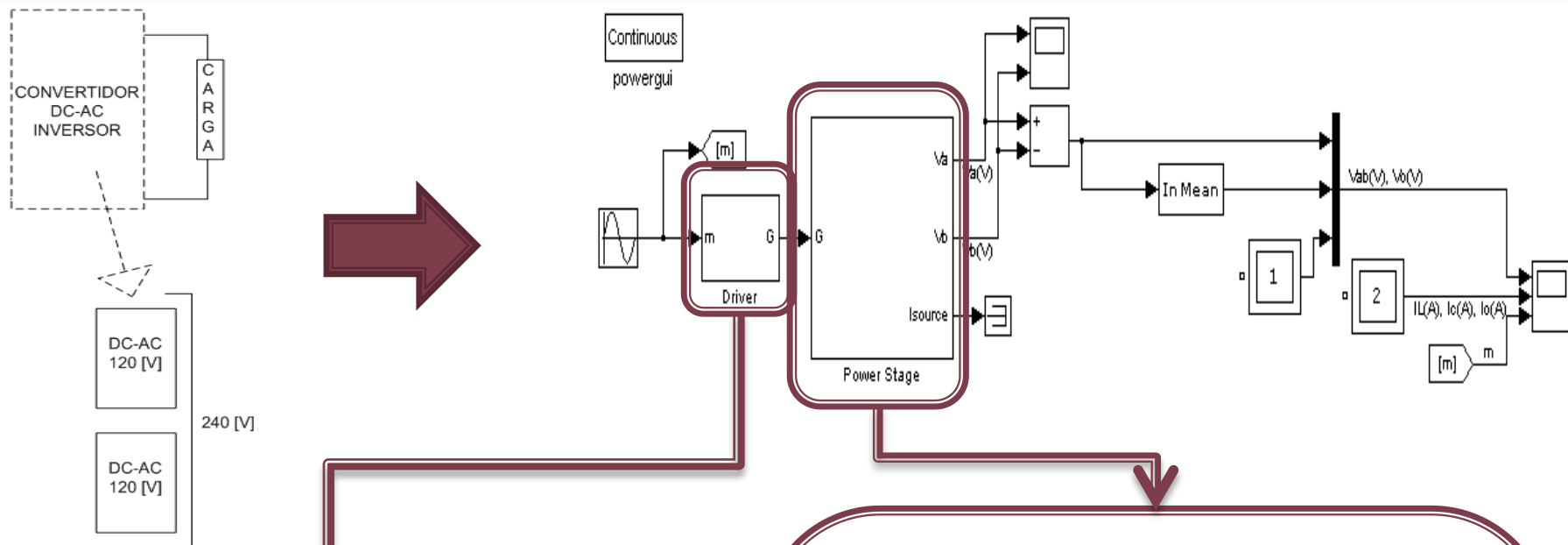
C
O
N
T
R
O
L
A
D
O
R

$$G_{ci} = \frac{-0.06283s - 107}{4.312 \times 10^{-5}s^2 + s}$$

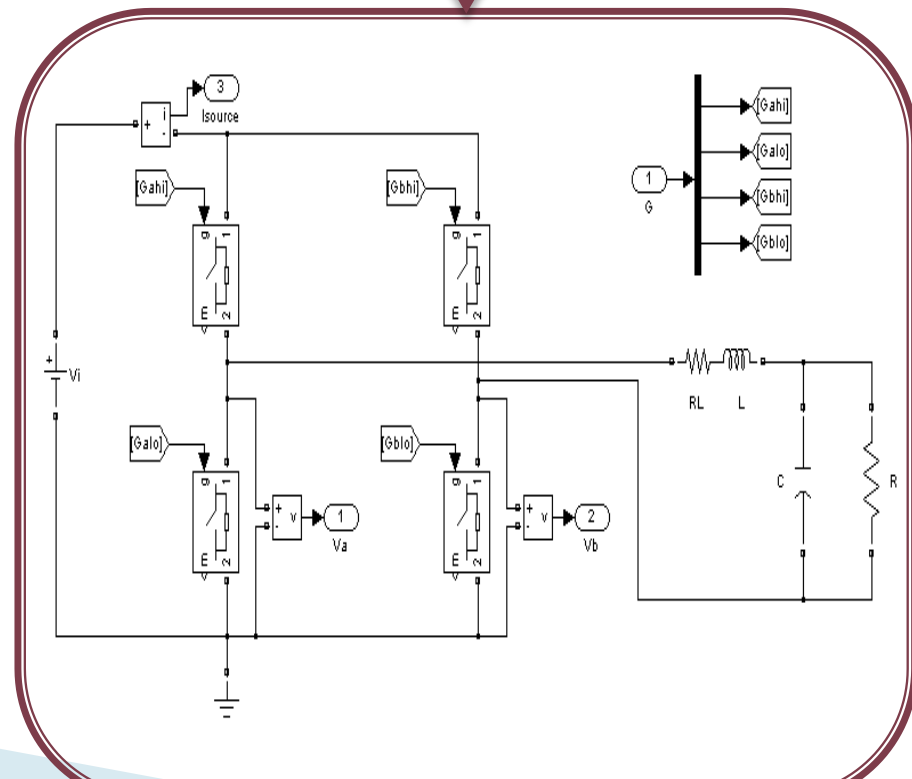
$$G_{cv} = \frac{3.927s + 396.7}{0.0007108s^2 + s}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DC-AC (INVERSOR)



Dimensionamos RL(resistencia parasita) y L(inductor)

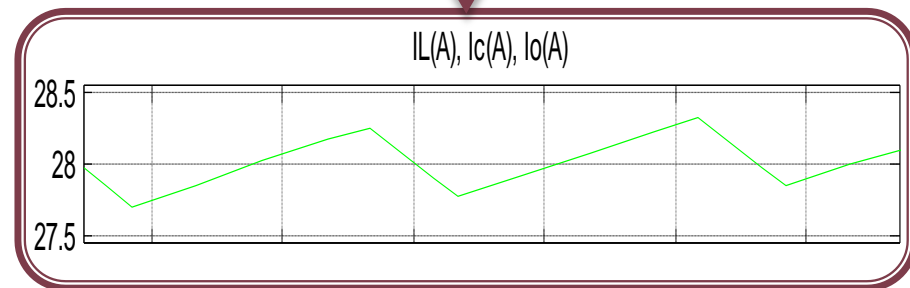
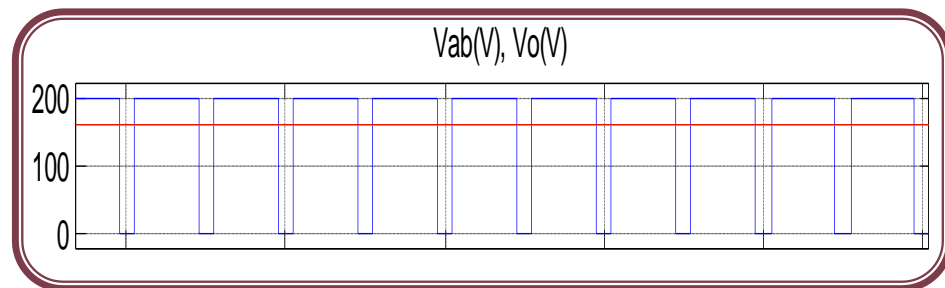
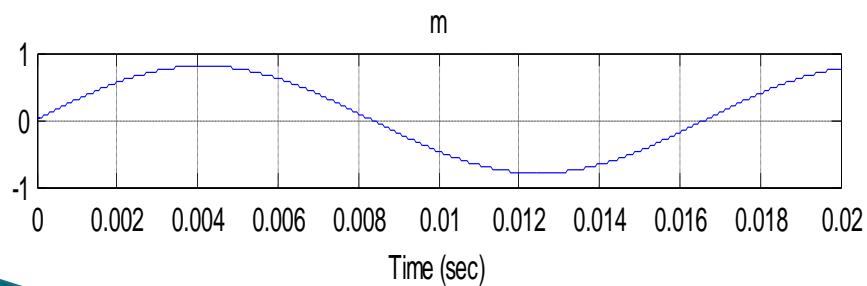
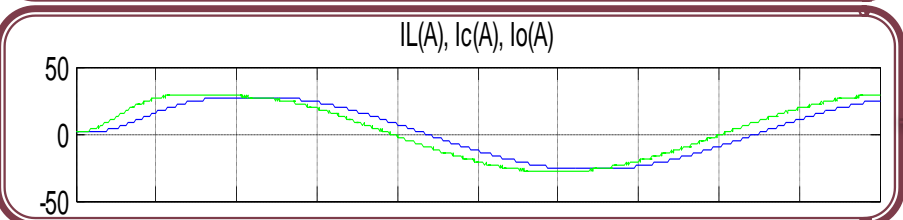
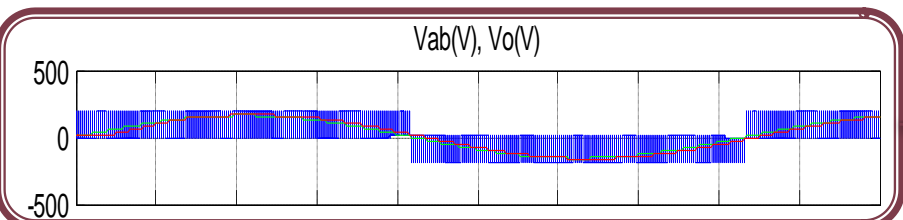


DIMENSIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DC-AC (INVERSOR)

$R_L = 0.07$ [ohm]

$C = 75$ [uF]

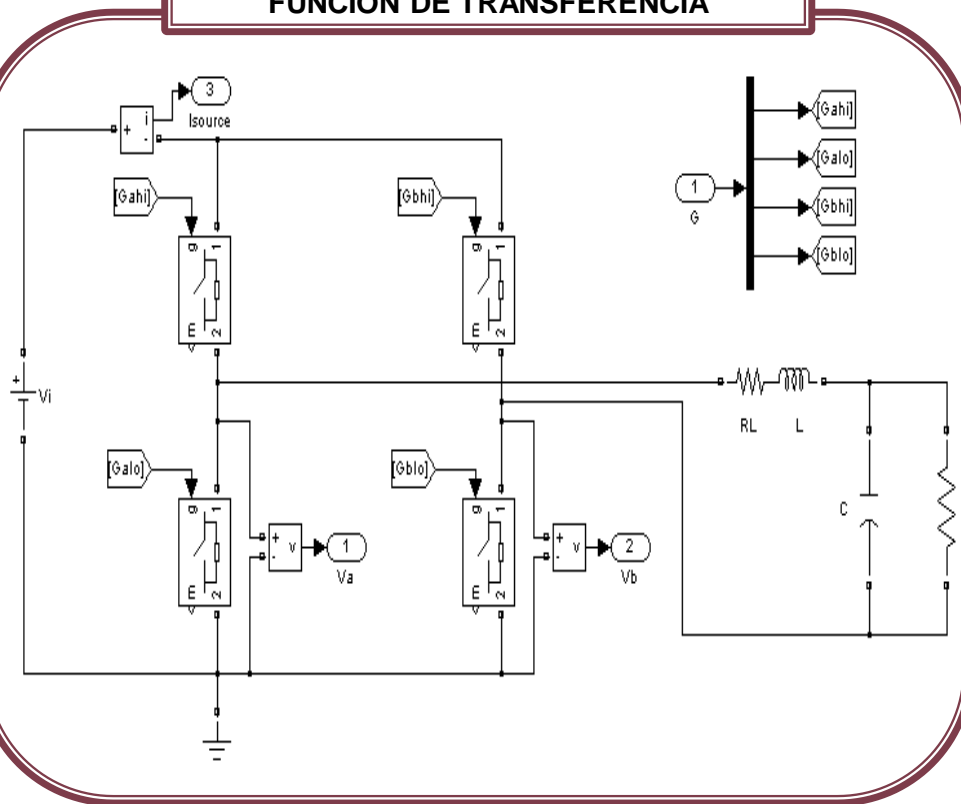
$L = 2$ [mH]



SEÑALES DEL INVERSOR DC-AC

DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-AC (INVERSOR)

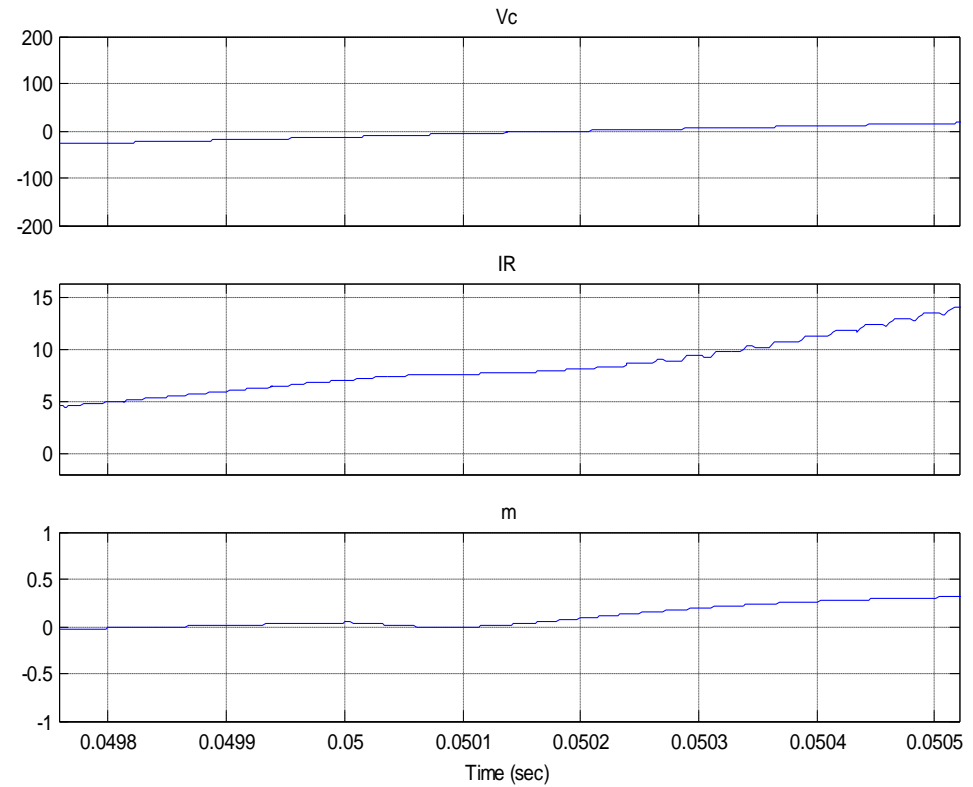
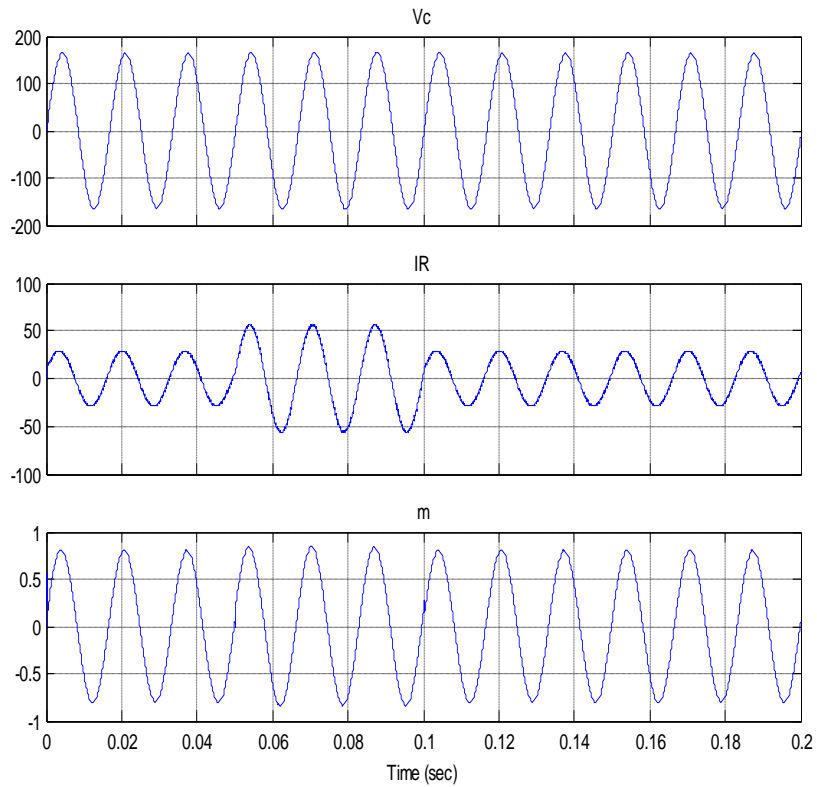
MODELO PARA ENCONTRAR LA FUNCION DE TRANSFERENCIA



$$G_p = \frac{600}{9 \times 10^{-7} s^2 + 0.002031s + 3.07}$$

$$G_c = \frac{9.252 \times 10^{-7} s^2 + 0.02656s + 19.06}{s(1.322 \times 10^{-9} s^2 + 7.271 \times 10^{-5} s + 1)}$$

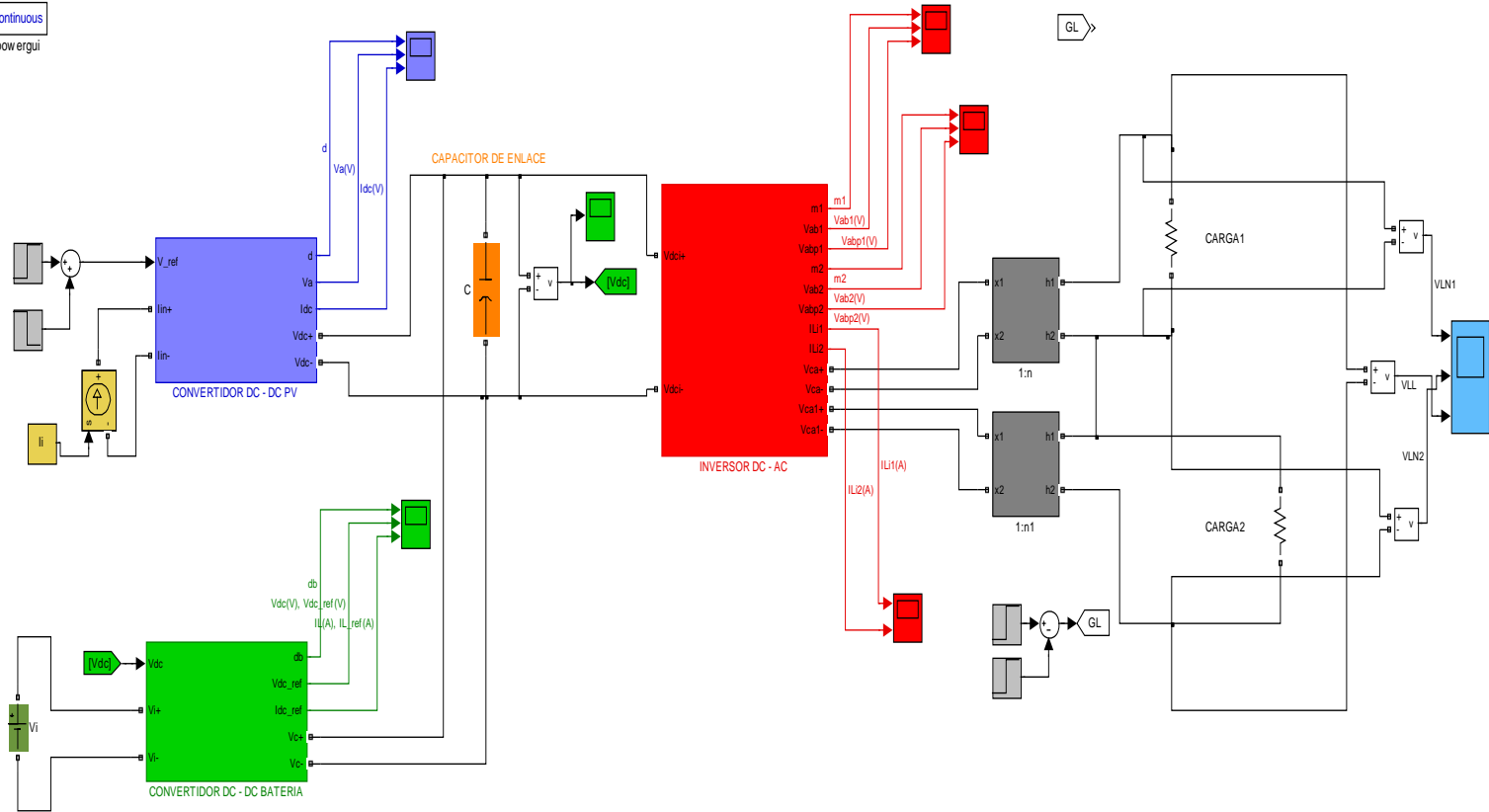
DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC-AC (INVERSOR)



SEÑALES DEL INVERSOR DC-AC

SISTEMA COMPLETO - ANALISIS

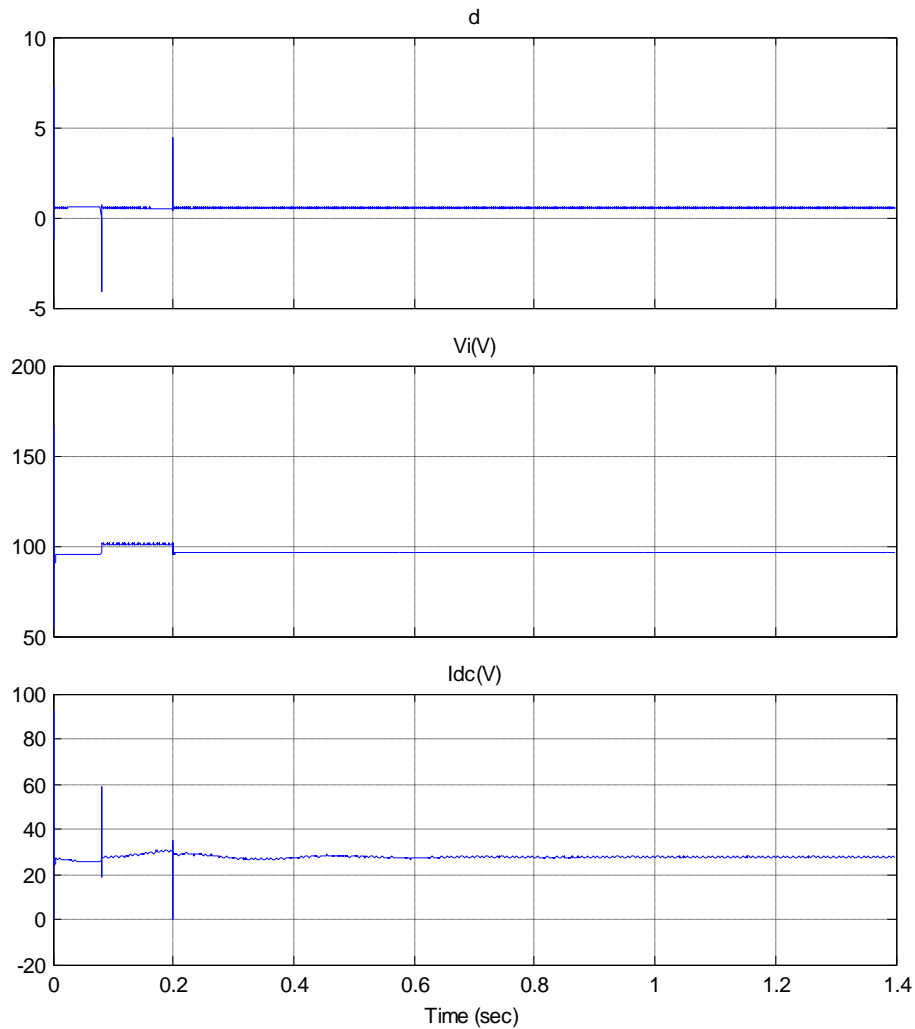
Continuous
powergui



ROMAN PARRALES
CRISTIAN TUMBACO

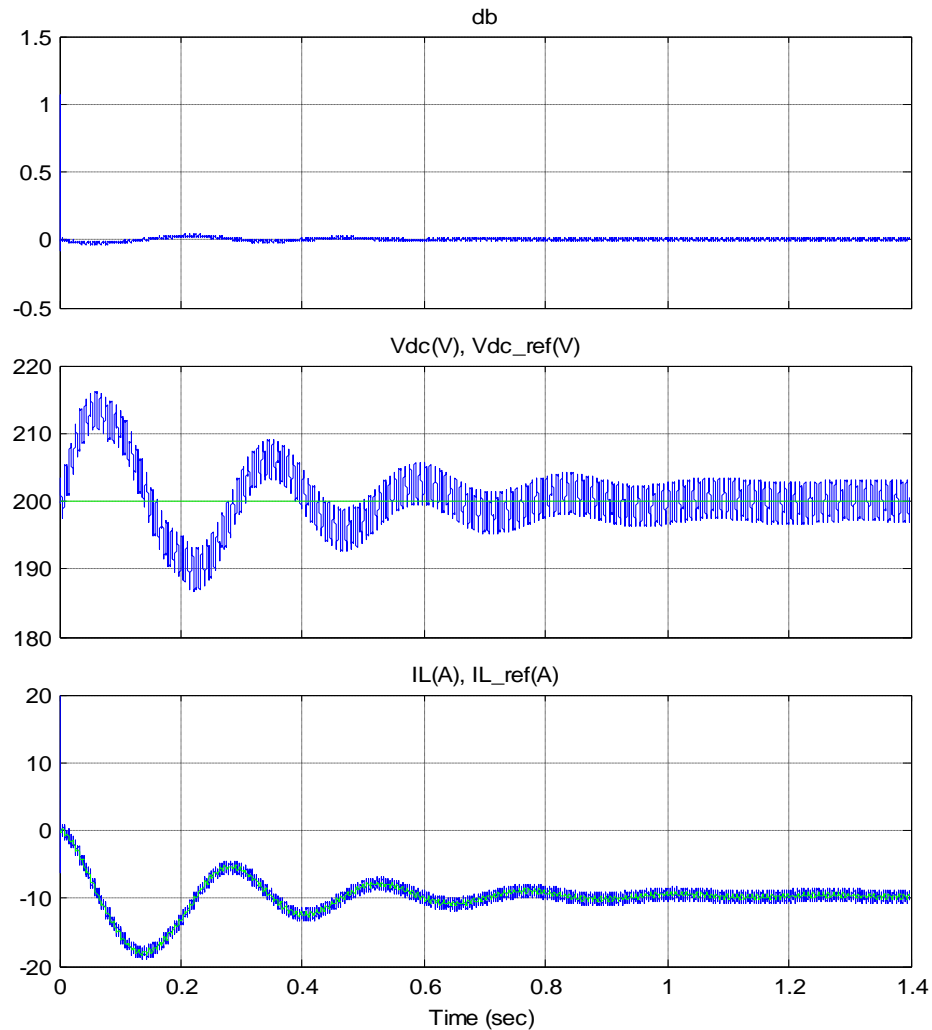
SISTEMA COMPLETO DE CONVERTIDORES E INVERSOR

SEÑALES: CONVERTIDOR DC-DC PV



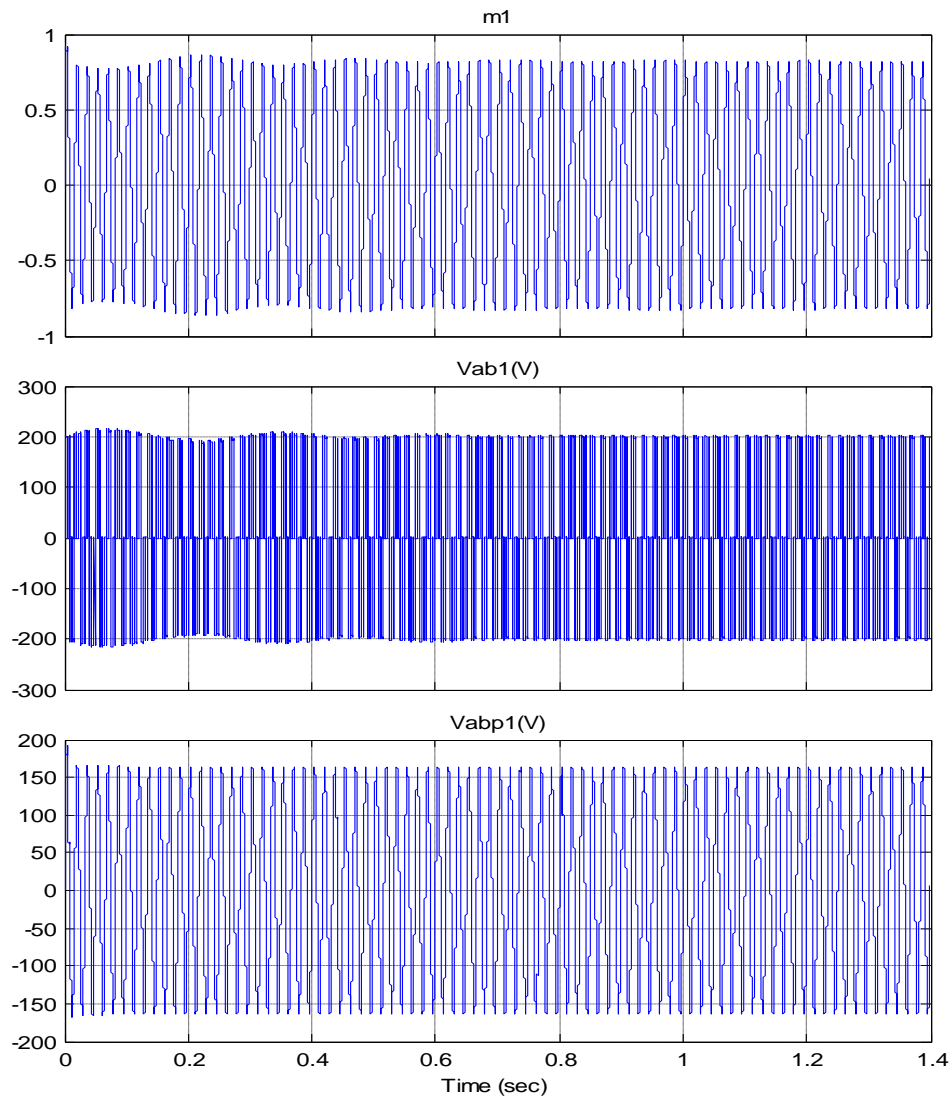
SEÑALES DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PV

SEÑALES: CONVERTIDOR DC-DC BATERÍA



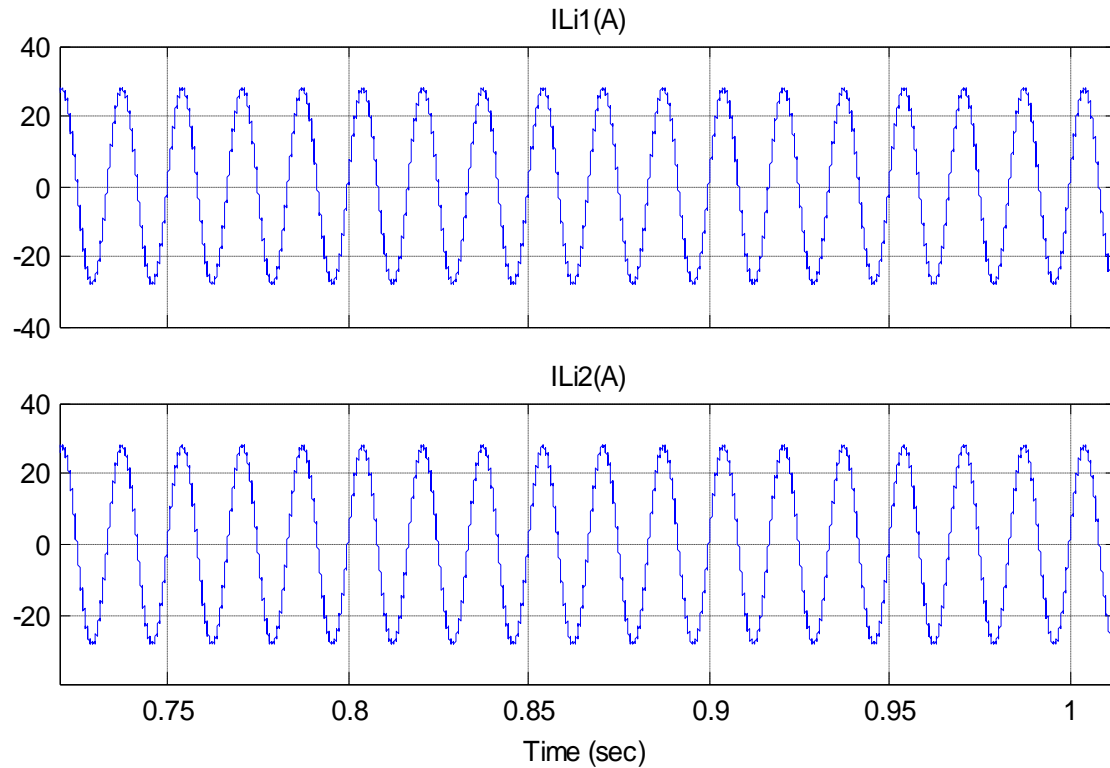
SEÑALES DEL CONVERTIDOR DC-DC DE LA BATERIA

SEÑALES: INVERSOR DC-AC



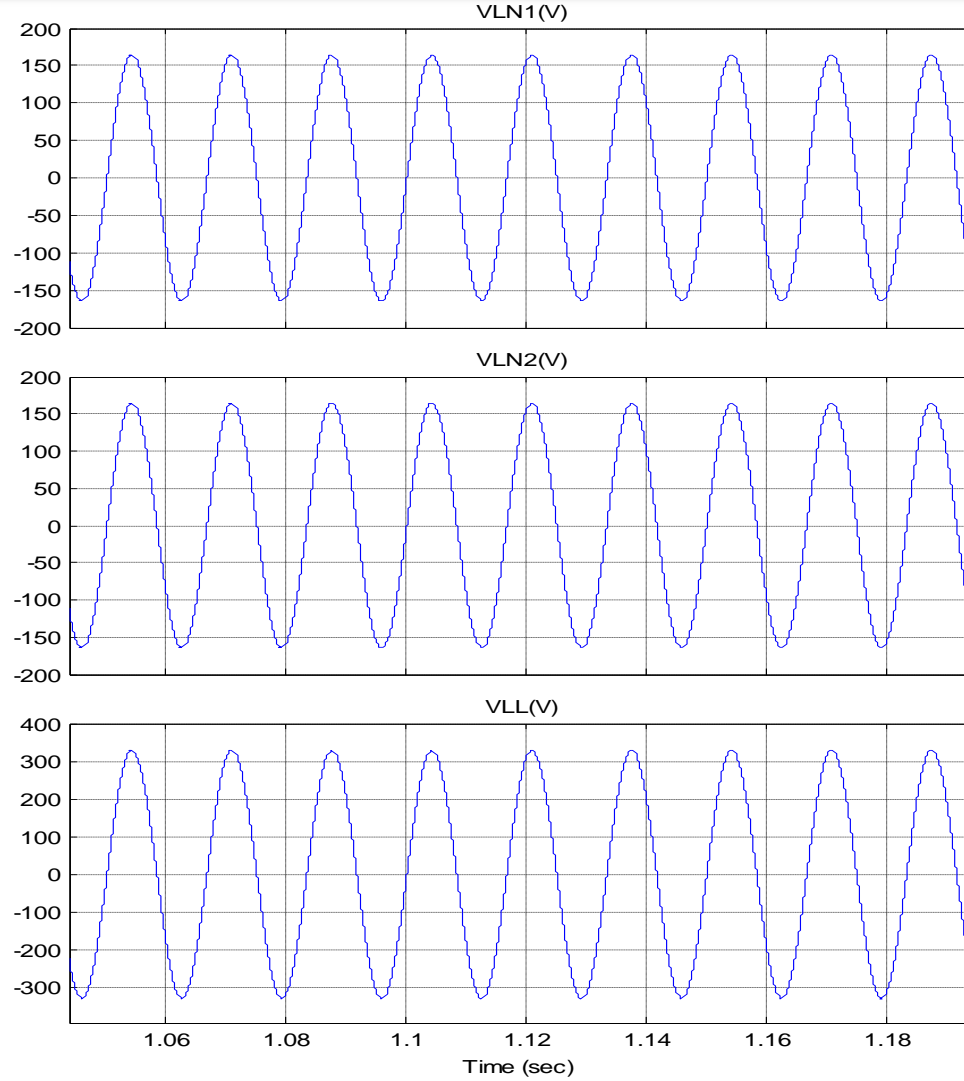
SEÑALES DEL INVERSOR DC-AC

SEÑALES: INVERSOR DC-AC



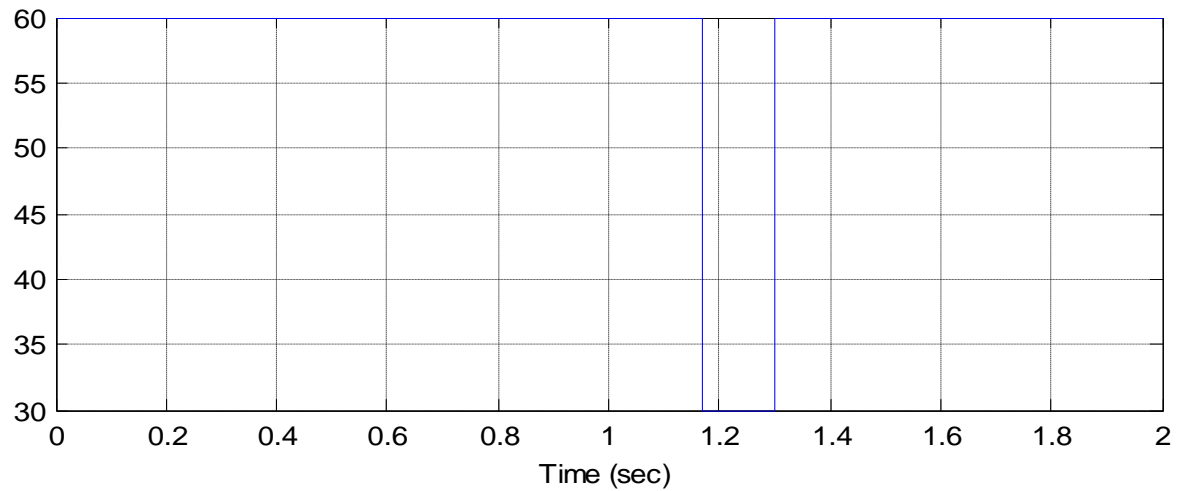
SEÑALES DE CORRIENTE EN EL INDUCTOR DEL INVERSOR DC-AC

SEÑALES: SALIDA INVERSOR DC-AC



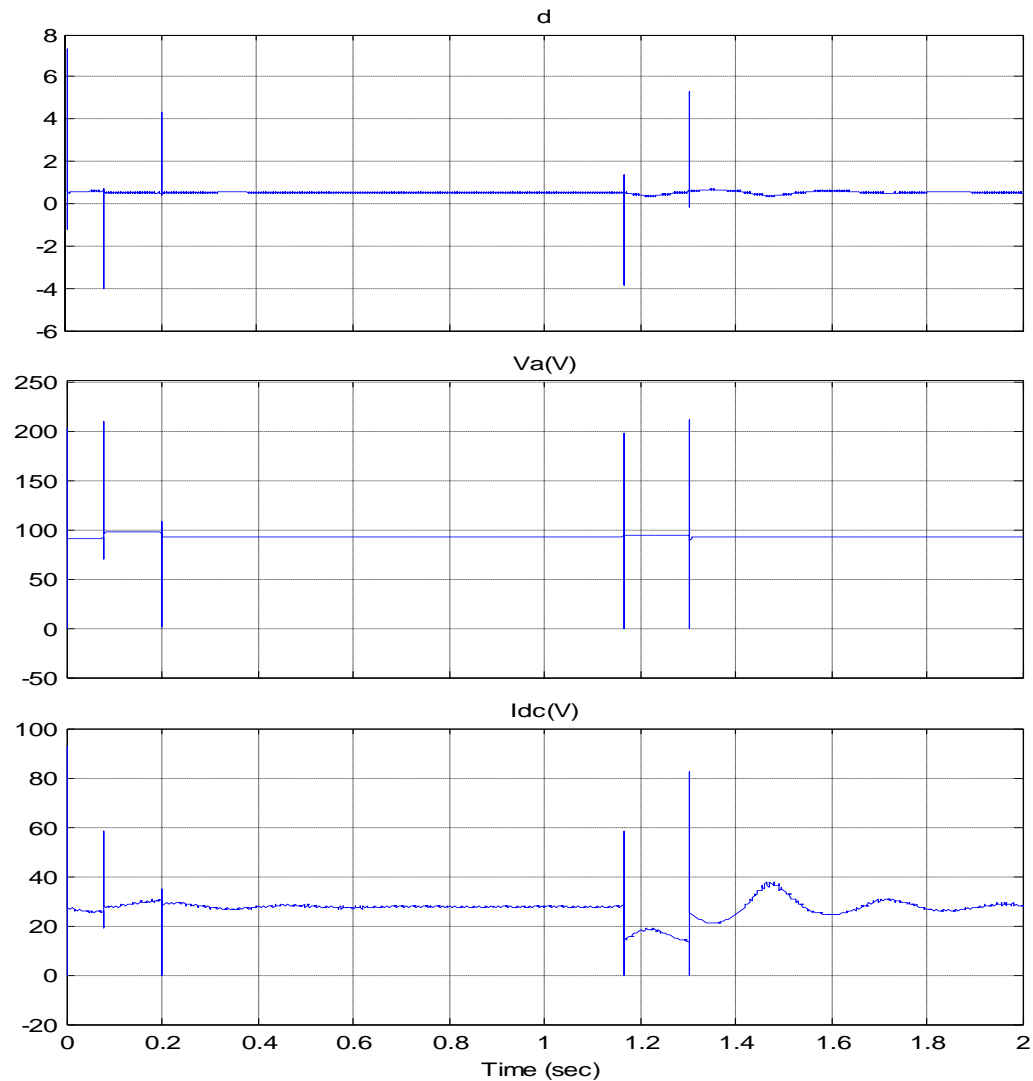
SEÑALES A LA SALIDA DEL INVERSOR DC-AC

PERTURBACION EN PANEL FOTOVOLTAICO



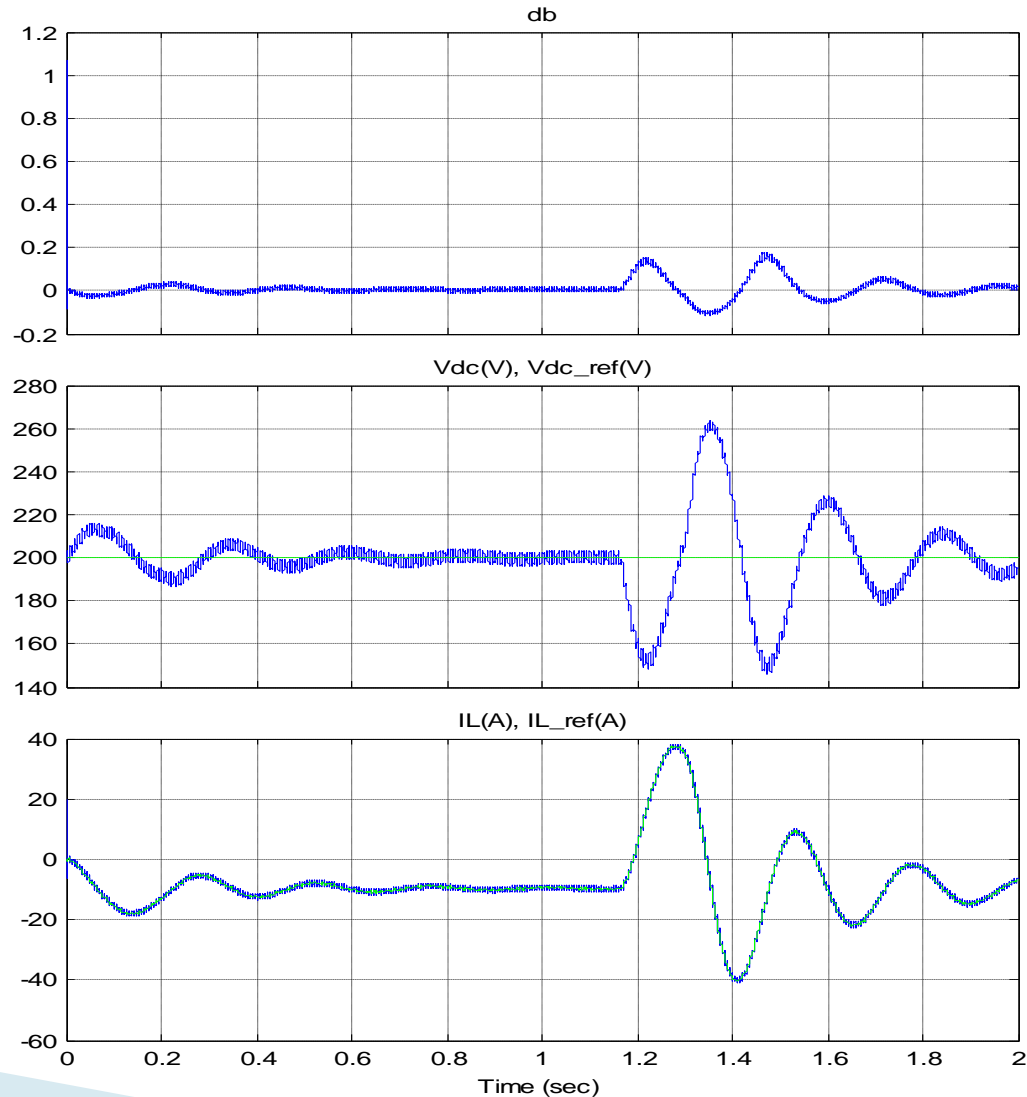
PERTURBACION DE CORRIENTE EN EL PV

SEÑALES: CONVERTIDOR DC-DC PV



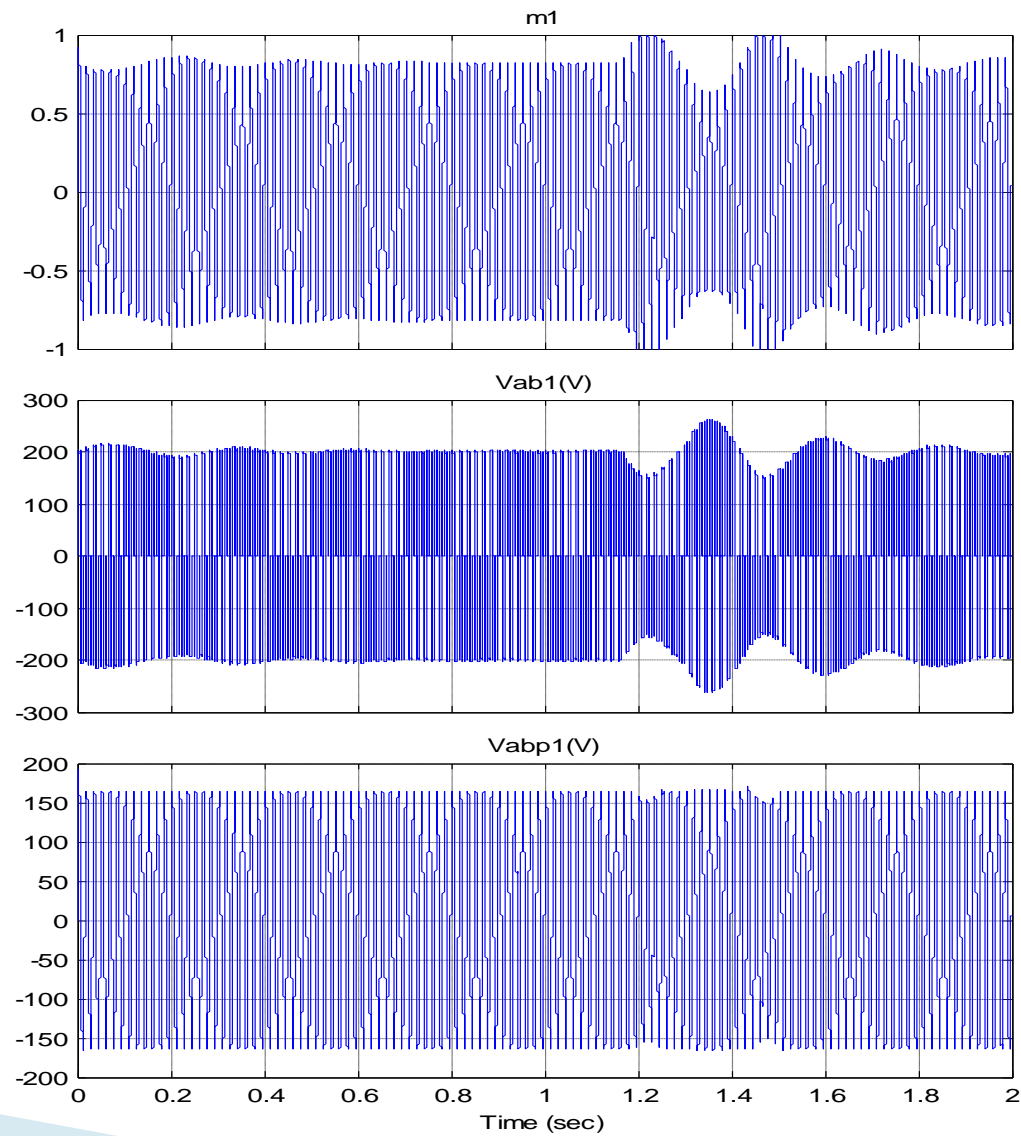
SEÑALES DEL CONVERTIDOR DC-DC DEL PV

SEÑALES: CONVERTIDOR DC-DC BATERIA

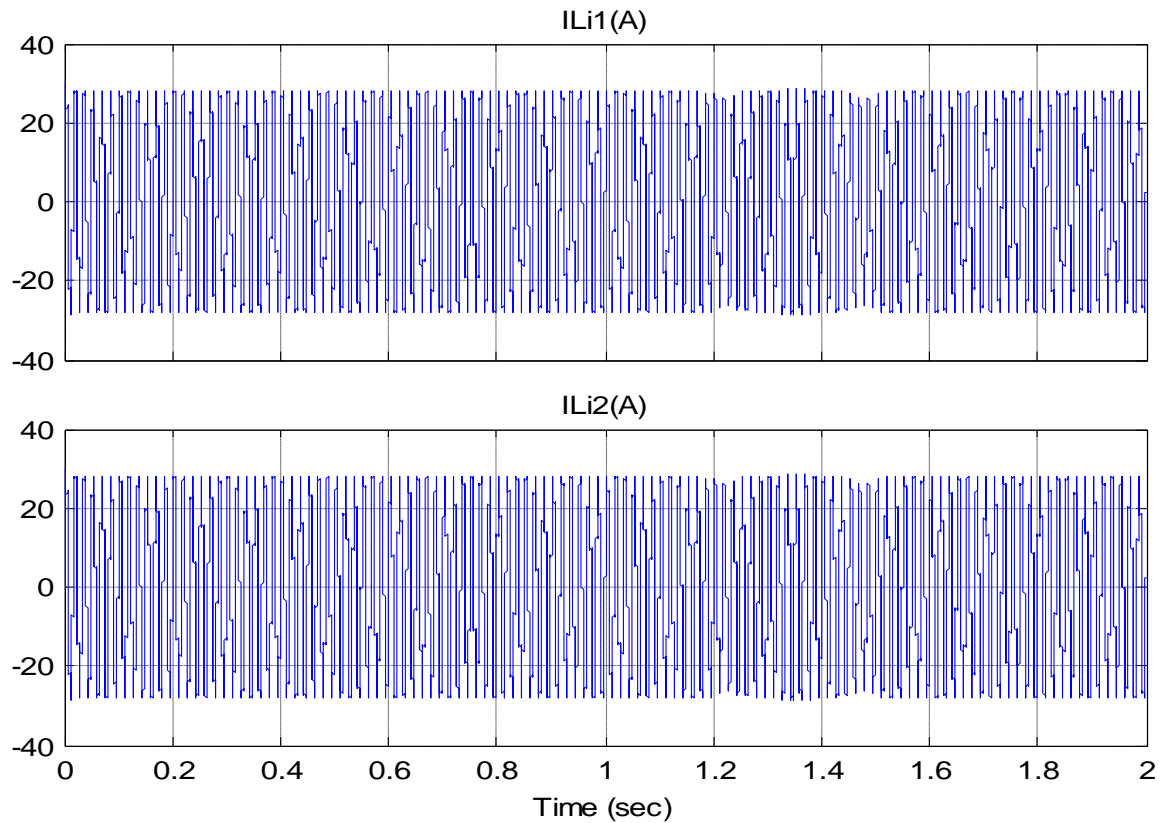


SEÑALES DEL CONVERTIDOR DC-DC DE LA BATERÍA

SEÑALES: INVERSOR DC-AC

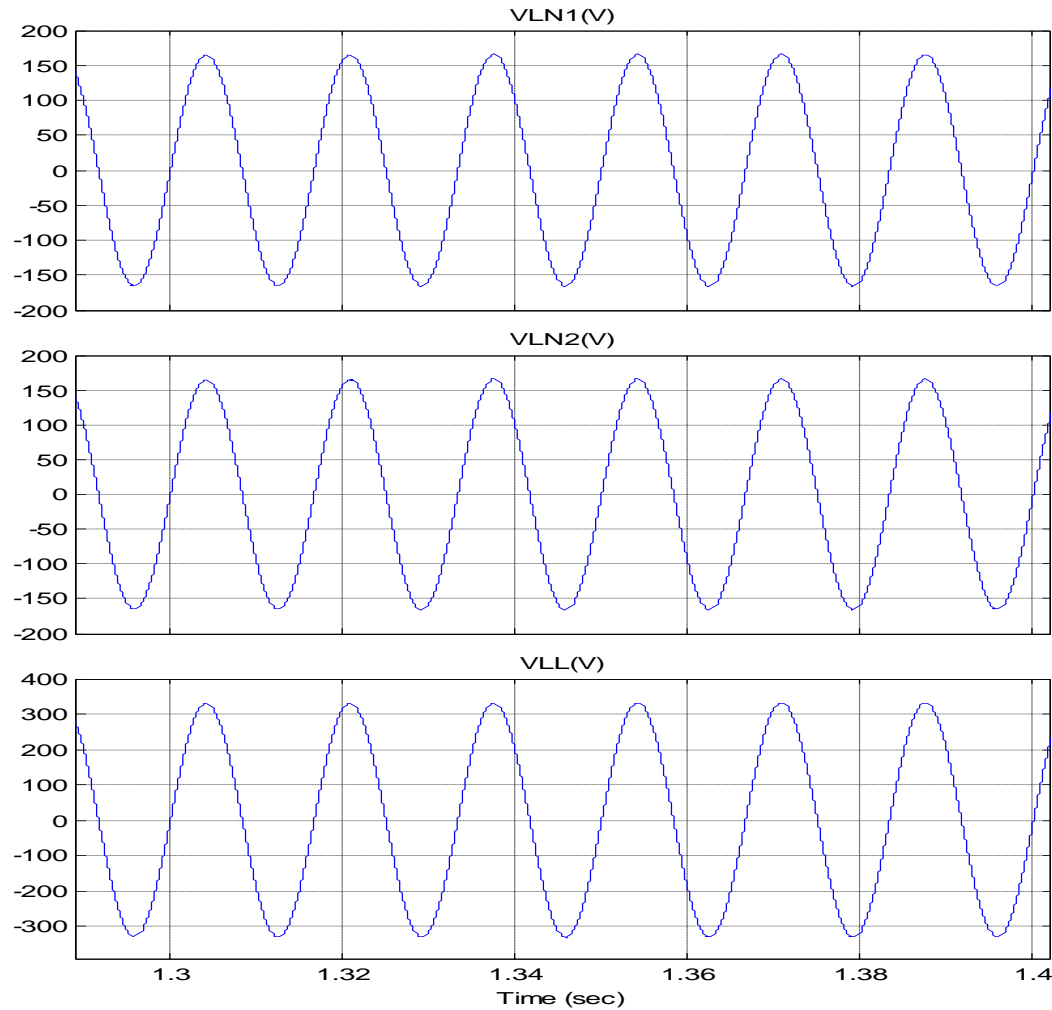


SEÑALES: INVERSOR DC-AC



SEÑALES DE CORRIENTE EN EL INDUCTOR DEL INVERSOR DC-AC

SEÑALES: SALIDA INVERSOR DC-AC



SEÑALES A LA SALIDA DEL INVERSOR DC-AC

CONCLUSIONES

- ✓ El sistema permite apreciar el funcionamiento de cada una de las señales importantes de cada una de sus etapas.
- ✓ Se logró diseñar un sistema que trabaja aislado de la red, siguiendo los modelos conceptuales descritos y la técnica de control elegida para todos los convertidores e inversor.
- ✓ Cuando existen aumentos considerables de carga el sistema no responderá porque está diseñado para una potencia máxima determinada en el estudio.
- ✓ El voltaje en el capacitor de enlace ó DC-LINK regula el flujo de potencia desde los paneles hacia la carga o hacia las baterías, por ello su importancia en el estudio.

RECOMENDACIONES

- ✓ Analizar todas las señales de cada una de las etapas y componentes del sistema, para confirmar los datos de las variables definidas.
- ✓ Los valores de los elementos dimensionados en los convertidores son teóricos.
- ✓ Se recomienda la implementación para comprobar la validez del presente estudio.

GRACIAS
POR
SU
ATENCIÓN

