Diseño de un Conversor CA/CC con Corrección del Factor de Potencia para un Sistema de Alimentación Ininterrumpida

Adrian E. Scillato

Estudiante de 5° Año de Ingeniería Electrónica
Universidad Nacional del Comahue
Email: ascillato@gmail.com

***Resumen*—Este trabajo expone una mejora para el diseño de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida. La etapa mejorada es la carga de la Batería, que generalmente consta de un Rectificador de Onda Completa (ROC), el cual inyecta un gran contenido de armónicos a la red de alimentación. Este problema puede ser solucionado reemplazando al ROC por un Conversor CA/CC con corrección del Factor de Potencia. Los resultados de la simulación son presentados como justificación del análisis.**

***Abstract*—This work presents an enhancement for the design of Uninterruptible Power Systems. The battery charge stage is the enhanced one, which commonly consists of a Full Wave Rectifier that injects an important harmonics amount to the utility. This problem can be solved replacing the Rectifier by a Corrected Power Factor AC/DC Converter. Simulation results are shown as analysis justification.**

I. Introducción

Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida son utilizados ampliamente en una gran variedad de dispositivos electrónicos críticos [1] [2] como equipamiento médico, computadoras, sistemas de telecomunicaciones, servidores de Internet, etc. Su función principal es mantener a estos dispositivos alimentados en caso de un corte de energía eléctrica y además protegerlos contra sobretensiones y bajas de tensión.

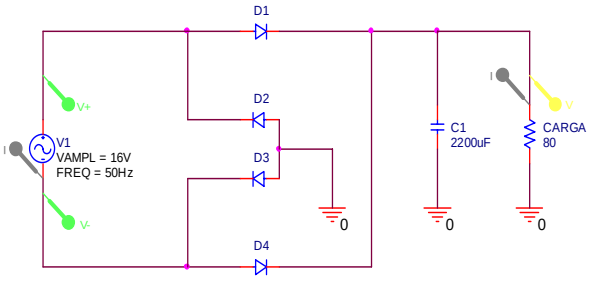

Fig. 1. Circuito de un Rectificador de Onda Completa.

Este trabajo presenta una mejora sustancial en el rendimiento de los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) [1]. Generalmente los SAI no hacen ningún tratamiento de los armónicos inyectados a la red de alimentación cuando están en el estado de *Stand-by* en el cual proceden a la carga de la batería interna.

A. Armónicos Inyectados a la Red de Alimentación

Los armónicos que son inyectados a la red son debidos a que la etapa de carga de la batería consta de un Rectificador de Onda Completa (ROC), el cual actúa como una carga no lineal. Este problema puede ser solucionado reemplazando al ROC por un Conversor CA/CC con corrección del Factor de Potencia, el cual

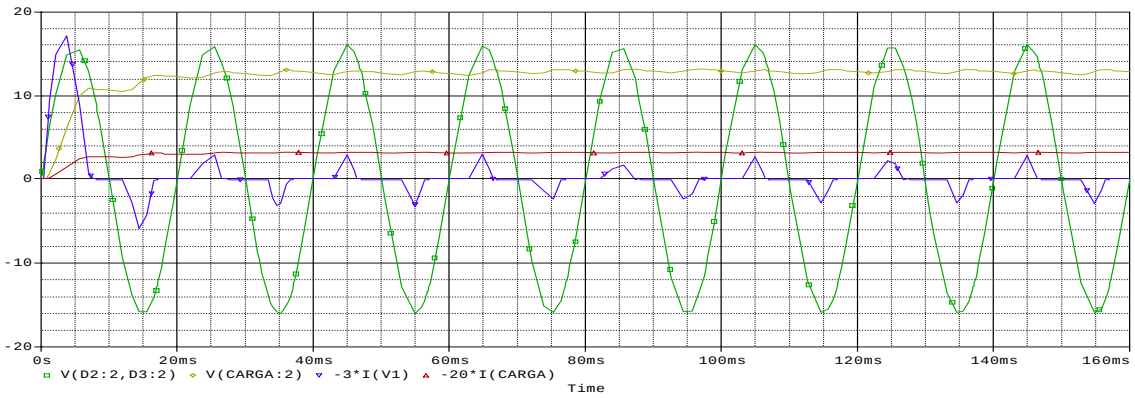

Fig. 2. Formas de Onda del Voltaje de Entrada (V_1), del Voltaje de Salida (V_{CARGA}), de la Corriente de Entrada (I_{V1}) y de la Corriente de Salida (I_{CARGA}). Se debe notar que las corrientes fueron escaladas para su mejor visualización.
Simulación Realizada con OrCAD 10.5 DEMO

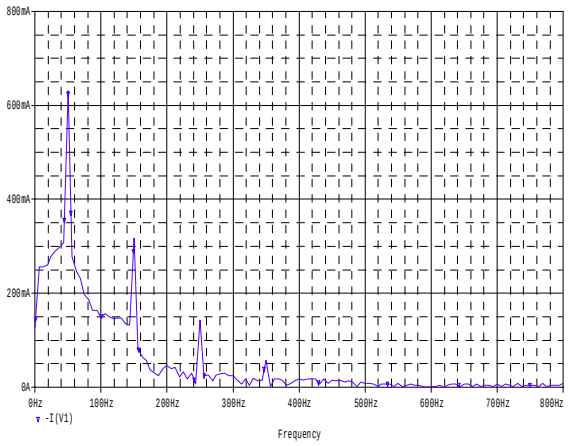

Fig. 3. Armónicos generados por el ROC.
Simulación Realizada con OrCAD 10.5 DEMO

actuará como una carga resistiva en la red de alimentación, incrementando así el rendimiento del SAI.

B. Análisis del ROC

El ROC utilizado en el trabajo [1] se muestra en la Fig. 1. Este tipo de rectificador posee un capacitor que almacena energía entre los 60 y 90 grados eléctricos [3] de la corriente alterna (CA) de la red de alimentación, para luego liberarla de los 90° a los 180°. Luego de esto el ciclo se repite.

Gracias a esto, vemos que el ROC toma energía de la red solo entre los 60° y los 120° aproximadamente, como lo muestra la Fig. 2. Debido a que este tipo de circuito no absorbe corriente como un elemento lineal (en donde la corriente tomada es proporcional al voltaje, y además puede tener un desfasaje), inyecta en la red una serie de armónicos no deseados. Esta deformación en la forma de onda de la energía de alimentación es llamada “distorsión de cruce por cero” y ocurre debido a los diodos. El contenido de armónicos inyectados a la red de alimentación se puede ver en la Fig. 3.

Así, podemos observar que no es recomendable el uso masivo de Rectificadores de onda completa, y menos aun cuando se requiere potencia a la salida de este. Mientras mas potencia se extraiga de un ROC, más notables serán los armónicos. Además, puede verse que se genera el dañino tercer armónico. Debido a esto no es aceptable para el Sistema de Alimentación Ininterrumpida el uso de un ROC en la etapa de Carga de la Batería.

C. Conversor CA/CC

Se plantea como solución al alto contenido de armónicos del ROC, un Conversor CA/CC sin puente rectificador [4]. El circuito propuesto es el de la Fig. 4. Este circuito está basado en la necesidad de un alto factor de potencia y un bajo contenido de armónicos [2] [4] [5] [6]. Los conversores CA/CC proveen a la salida un voltaje estable de corriente continua (CC), teniendo a la entrada de corriente alterna (CA) un alto factor de potencia. Este tipo de dispositivos son también llamados conversores PFC (con factor de potencia corregido). Esta capacidad los hace una elección extremadamente atractiva para los SAI y otras aplicaciones de conversión de energía CA/CC, debido al incremento en el interés de la calidad de la energía y en el cumplimiento de las regulaciones y los estándares. En la tabla I se puede apreciar una comparativa entre las capacidades de los ROC y los Conversores CA/CC.

TABLA I
COMPARACIÓN ENTRE EL ROC Y EL CONVERSOR CA/CC

Características	Rectificador	
	ROC	Conversor CA/CC
Control	Ninguno	Completo
Eficiencia	Baja	Alta
Nivel de Armónicos	Alto	Muy Bajo
Capacidad de Controlar el Voltaje de Corriente Continua a la salida	Ninguna	Alta
Costo	Muy Bajo	Medio

II. CONVERSOR CA/CC

A. Características del Circuito

El circuito propuesto consta de 2 partes. Posee un rectificador conmutado de medio puente para la conversión CA/CC, el cual está compuesto de 2 MOSFETs, un inductor y 2 capacitores. Este tipo de circuito permite el flujo bidireccional de energía y elimina el uso de los diodos de bloqueo de los conversores más comunes. Esta parte puede actuar como rectificador (CA→CC) y como inversor (CC→CA), además de poder actuar como troceador (CC→CC).

La segunda parte es un troceador que convierte al voltaje de la primera etapa (aprox. 100V de CC) en un voltaje menor adecuado para el cargador de batería y el sistema de control del SAI. Esta última parte consta de 2 MOSFETS, otro inductor y un capacitor. Este circuito está en reemplazo de los 4 diodos de potencia del ROC

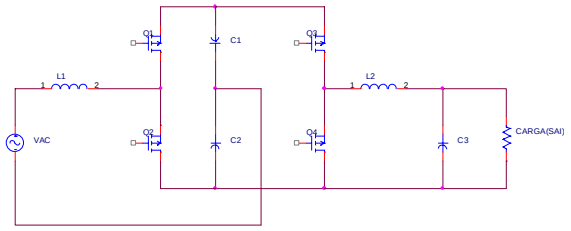

Fig. 4. Circuito del Conversor CA/CC propuesto.

del SAI. El capacitor del ROC puede ser dejado como filtro para dar un mayor suavizado a la corriente continua de salida.

Bajo la topología de la Fig. 4, existe en todo momento solo una conducción por semiconductor, con lo cual se espera que el sistema opere con mucha eficiencia [4]. El camino de CC, que está entre las 2 partes del conversor, usa 2 capacitores idénticos, C1 y C2, que suprimen los armónicos de conmutación de los MOSFETs [7] y minimizan las emisiones electromagnéticas (EMI).

B. Comportamiento del Conversor

La performance del conversor es la misma en el medio ciclo positivo y en el medio ciclo negativo del voltaje de corriente alterna de la red de alimentación. Así, el MOSFET1 actúa en el medio ciclo positivo y el MOSFET2 actúa en el medio ciclo negativo, basados en la estrategia de PWM (Pulse Width Modulation), la cual será explicada en el punto IV.

Debido a que el circuito posee 2 etapas y que método de control está basado en un microcontrolador, se ha realizado un algoritmo de control que se autorregula para mantener un voltaje constante en el camino de CC y otro a la salida, teniendo así la capacidad de aceptar diferentes voltajes de alimentación. Así, este conversor posee la capacidad de entrada universal, pudiendo trabajar con 220V a 50Hz, 110V a 60Hz, etc., dando como salida el mismo voltaje de 15V. Por lo tanto, esta capacidad de ser multifrecuencia, multivoltaje y con factor de potencia casi unitario, es una característica interesante para el mercado comercial. También sería posible optimizar el algoritmo de control para soportar entrada de CC, y manejo bidireccional de la energía [6] para actuar como un conversor regenerativo. En un SAI estas características no son necesarias, pero si son importantes, para un conversor que controle un motor o cargas con acumulación de energía, la característica de ser regenerativo y que pueda "extraer" esta energía e inyectarla hacia la red de alimentación y con factor de potencia cercano a uno.

III. MODELADO DEL CONVERSOR CA/CC

El punto de partida para modelar este conversor es aplicando las leyes de Kirchoff y Ohm al circuito, las cuales proveen ecuaciones diferenciales de primer orden que describen el estado de la corriente a través de los inductores y el voltaje de los capacitores. La función de conmutación obtenida por el controlador realimentado, es también incorporada al modelado, como así también, los demás componentes del conversor (la fuente de alimentación de CA y la carga) para poder simular el sistema completo. Toda la simulación es llevada a cabo en el software SIMULINK de MATLAB. Dentro de SIMULINK es utilizado el toolbox SIMPOWER SYSTEMS que este incorpora.

Como los diferentes dispositivos y elementos de los convertidores pueden exhibir una dinámica bastante compleja se tratarán en este trabajo con modelos que simplifican la realidad y que serán más apropiados para el diseño y la simulación. Como son utilizados los modelos de SIMULINK, pueden verse en detalle las hipótesis simplificativas de estos en [12].

A. Modelado del Sistema de Alimentación

En condiciones normales de operación, los sistemas de alimentación pueden ser modelados como una fuente de voltaje sinusoidal de amplitud V_m y de frecuencia f. El voltaje instantáneo en el tiempo t es:

$$V_A = V_m seno(2\pi ft), \qquad \textbf{(1)}$$

B. Modelado del Sistema de Control

El sistema de control es modelado utilizando las facilidades que ofrece SIMULINK, con lo cual, como se verá en el punto IV, se utilizará la teoría de Control para la realización del mismo.

C. Modelado de los elementos pasivos

El inductor es modelado como una inductancia lineal L. Similarmente, los capacitores son modelados como lineales.

D. Modelado de la carga

La carga, o sea el resto del circuito del SAI, es modelado como una carga resistiva.

E. Modelado de los semiconductores

Las llaves semiconductoras utilizados son MOSFETs, los cuales son modelados como [12]. Como puede verse en la Fig. 4, los MOSFETs no pueden ser encendidos simultáneamente sin ocasionar daños, esto es, que cuando el MOSFET 1 está encendido, el MOSFET 2 deberá estar apagado. Así, que asumiendo que los MOSFETs son interruptores ideales [12] los cuales poseen como función de conmutación a M_1 y a M_2 respectivamente, puede asignárseles un "0" cuando estén apagados y un "1" cuando estén encendidos. Con lo cual la Fig. 4 puede simplificarse a la Fig. 5.

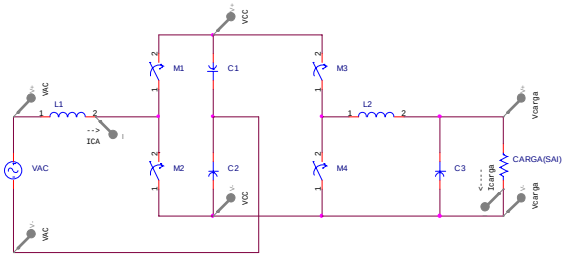

Fig. 5. Circuito Simplificado del Conversor CA/CC.

F. Ecuaciones de Estado del Circuito

En base a la Fig. 5, pueden obtenerse las siguientes ecuaciones de estado para el Conversor:

$$L_1 \frac{d}{dt} i_{CA} = v_{CA} - R_{L1} i_{CA} - M_1 v_{C1} + M_2 v_{C2}, \quad \textbf{(2)}$$

$$L_2 \frac{d}{dt} i_{CARGA} = M_3 (v_{C1} + v_{C2}) - R_{L2} i_{CARGA} - v_{CARGA}, \quad \textbf{(3)}$$

$$C_1 \frac{d}{dt} v_{C1} = M_1 i_{CA} - M_3 i_{CARGA}, \quad \textbf{(4)}$$

$$C_2 \frac{d}{dt} v_{C2} = -M_2 i_{CA} - M_4 i_{CARGA}. \quad \textbf{(5)}$$

Las resistencias internas de las inductancias L_1 y L_2 llamadas R_{L1} y R_{L2} respectivamente serán tomadas como de valor nulo para simplificar el análisis. El Capacitor C_3 es utilizado como filtro para reducir el ripple generado por las conmutaciones, por lo cual, su efecto en las ecuaciones es despreciado. Para un análisis más exhaustivo pueden ser incluidas todas estas simplificaciones, pero no darán como resultado grandes diferencias.

También se puede ver que el voltaje del camino de corriente continua es:

$$v_{CC} = v_{C1} + v_{C2} \quad \textbf{(6)}$$

Así, vemos de las Ecs. (2)-(6) que si tomamos a v_{CC}^* como el voltaje deseado en el camino de corriente continua y a v_{CARGA}^* como el voltaje requerido en la carga, podremos encontrar funciones de conmutación M_1, M_2, M_3, M_4 como sistema de control del Conversor, realimentando al mismo con i_{AC}, i_{CARGA}, v_{CC}, v_{CARGA} y v_{CA}. Además vemos que M_1 y M_2 son mutuamente excluyentes como también lo son M_3 y M_4, y que además solo toman los valores 0 y 1 (apagado y encendido), por lo tanto podremos simplificarlas a:

$$M_1 = 1 - M_2, \quad \textbf{(7)}$$

$$M_3 = 1 - M_4 \quad \textbf{(8)}$$

IV. Control del Conversor CA/CC

Los convertidores CA/CC, como en muchos otros sistemas electrónicos, no pueden funcionar sin un control por realimentación. El la Fig. 6 se muestra al circuito simplificado con el diagrama en bloques del sistema de control utilizado. Este esquema fue realizado en SIMULINK de MATLAB con el propósito de simular el sistema completo. Se ha tomado como figura de mérito al contenido de armónicas de corriente en la entrada de la red de alimentación [6] para la realización del sistema de control.

El modo de control del circuito es por corriente. Este esquema de control, asegura un voltaje regulado de salida de CC, manteniendo un alto factor de potencia a la entrada. Para lograr esto, se trata de mantener a la corriente absorbida I_{CA} por el conversor en fase con el voltaje de alimentación V_{CA}, siendo esta una proporción del voltaje. Así, el conversor aparentará ser una carga resistiva para la red, lo cual es óptimo. Esto nos lleva a que la corriente en el inductor L1 podrá ser representada como:

$$i_{CA} = I_m seno(2\pi f t), \quad \textbf{(9)}$$

donde f es la frecuencia de la red.

Con este criterio, el controlador deberá decidir sobre la corriente que será tomada de la red (específicamente sobre I_m), y en base a ello encender y apagar los MOSFETs.

En el sistema de control del Conversor CA/CC, se utilizó la teoría de control para decidir sobre la forma de onda de la corriente. El sistema utilizado es un simple control proporcional, que tiene en cuenta la corriente actual por el inductor, el voltaje de entrada, el de la carga y el del camino de corriente continua. El control de la conmutación de los MOSFETs se realiza en base a una modulación por ancho de pulsos (PWM). Así, el valor de la corriente que se requiere tomar de la red, se envía al generador PWM y este hace conmutar los MOSFETs para lograr esa magnitud, modulando la señal pedida.

A. Control del Voltaje V_{CC}

El sistema de control del Conversor CA/CC [9], [10], [11] se muestra en el diagrama en bloques de la Fig. 7. El mismo fue realizado en SIMULINK de MATLAB e incluido como un bloque llamado “Sistema de Control” en la Fig. 6, para poder realizar una simulación del sistema completo.

El controlador 1 es el encargado de mantener al voltaje V_{CC} a un valor constante e igual al valor de referencia V_{CC}^* (valor deseado). Para esto, se contrasta el valor de referencia con el valor real, obteniéndose así, un voltaje de error *(e)*. Este voltaje pasa por un Proporcional que nos da como salida el valor G (llamado I_m en el análisis anterior, ec. 9) de corriente requerida para corregir a V_{CC}. Este valor G es multiplicado por un patrón *u(t)* de módulo unitario que le da a ese valor de corriente de corrección la forma requerida para mantenerse en fase con el voltaje de entrada V_{CA}. Esta forma de onda de corrección será la nueva I_{CA} (DeltaICA en la Fig. 7.). Así, el generador PWM modulará a I_{CA}.

La señal patrón *u(t)* es obtenida dividiendo a la señal sensada V_{CA} por el módulo de la misma V_m (ver ec. 1). Si V_m no es un valor prefijado, si no que el controlador lo toma de la señal de entrada (y lo va actualizando), puede soportar varios voltajes de entrada como 220V ó 110V sin cambiar nada y sin problemas. Como *u(t)* es

tomado de la red, la frecuencia de alimentación tampoco es problema, dado que este controlador se adecuará a la misma. La única optimización que puede aplicarse para las diferentes frecuencias es el hecho de que como el generador de PWM tiene una onda triangular interna que es la responsable de la resolución del mismo, puede modificarse la frecuencia de esta a 10[§] veces la de la red. Con esto se mantiene una simetría en los pulsos del generador y por ende se construye de forma correcta la onda I_{CA}.

B. Control del Voltaje V_{CARGA}

El controlador 2 es el encargado de mantener al voltaje V_{CARGA} a un valor constante e igual al valor de referencia V_{CARGA}^{*} (valor deseado). Para esto, se contrasta el valor de referencia con el valor real, obteniéndose así, un voltaje de error *(e)*. Este voltaje pasa por un Proporcional que nos da como salida el valor *G* de voltaje requerido para corregir a V_{CARGA}. Este valor *G* es introducido en el generador PWM el cual lo modulará para "trocear" a V_{CC} y obtener así, el valor V_{CARGA} deseado.

C. Sobre la Posible Implementación en el SAI

El sistema de control del Conversor CA/CC puede ser implementado en un microcontrolador PIC16F877 de la compañía Microchip, el cual puede ser programado en lenguaje C, que es el que MATLAB puede dar como salida. Dentro del programa deberá ser incluido toda la lógica que contiene el controlador del SAI de [1]. El microcontrolador que [1] posee es un PIC16F84 el cual no posee demasiada memoria de programa como para implementar un controlador basado en lenguaje C. Así, además de reemplazar al ROC del SAI por un conversor CA/CC, se deberá reemplazar al microcontrolador original por uno de mayor potencia, lo cual dará más libertad para futuras mejoras en el conversor CA/CC, en el Inversor y demás funcionalidades del software del SAI [1].

V. SIMULACIÓN

Las Simulación del ROC y los esquemas de los circuitos presentados en este trabajo fueron realizados con el software OrCAD 10.5 versión Demo (obtenido de http://www.orcad.com/).

La simulación del conversor CA/CC junto con su sistema de control fue realiza en MATLAB 7 (R14) utilizando también el entorno SIMULINK del mismo. Se usó en especial, el toolbox de MATLAB llamado SIMPOWER SYSTEMS.

En la Fig. 6 se puede observar el esquema completo del circuito simulado junto con el sistema de control, el cual posee internamente el esquema de la Fig. 7. También puede apreciarse en la Fig. 7 que el conexionado de las mediciones trata de ser idéntico al de una posible implementación. Además se debe notar la presencia de filtros RC en las mediciones más expuestas a los transitorios de conmutación. En este trabajo fueron utilizados este tipo de filtro por su simpleza, pero otra posible implementación puede ser el uso de filtros digitales dentro del sistema de control. Esto daría una mayor libertad para regular al filtro y mejorar las características dinámicas del conversor.

Para la simulación del sistema completo se debió utilizar como *solver* de SIMULINK a *ODE15S* dado que *ODE45*, que posee por defecto, no resuelve situaciones que contengan elementos no-lineales (los interruptores en nuestro caso).

Todo el sistema se encuentra en un único archivo *"Conversor_CA_CC.mdl"*.

Al finalizar la simulación se obtuvo la salida de la Fig. 8. En ella se pueden apreciar los transitorios de la corriente de entrada I_{CA}, del voltaje V_{CC} y de la carga. Puede verse también que I_{CA} está en fase con V_{CA}.

En la Fig. 9 vemos la distorsión armónica total en función del tiempo. Al iniciar la simulación, la distorsión es alta debido a que los capacitores están descargados, pero luego del transitorio es apreciable su disminución.

La Fig. 10 corresponde a la simulación del sistema completo pero con un voltaje de entrada de 110V y 60Hz. Para este caso, se modificó el valor de la constante que genera *u(t)* para que esta señal tenga módulo unitario. Se pasó de *1/220*sqrt(2)* a *1/110*sqrt(2)*.

La Fig. 11 muestra las señales internas del controlador 1 y la Fig. 12, las del controlador 2.

Finalmente podemos observar que el sistema responde correctamente a las hipótesis planteadas, pero aún así inyecta una pequeña cantidad de armónicos en la red. Esto es debido a que el controlador utilizado (un Proporcional) es muy simple y no posee ninguna dinámica lo cual afecta la respuesta global del sistema. En el punto VI se exponen algunas mejoras posibles al presente diseño.

[§] Este valor puede ser superior para aumentar la resolución del Generador PWM y mejorar así la forma de onda de la corriente en el inductor.

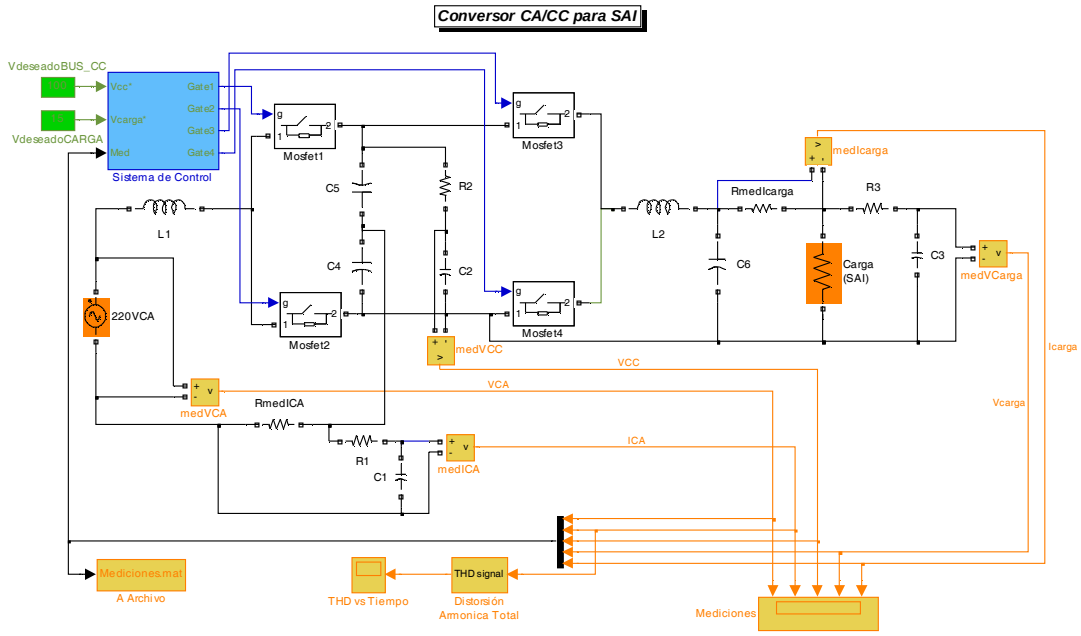

Fig. 6. Circuito Simplificado utilizado en SIMULINK.

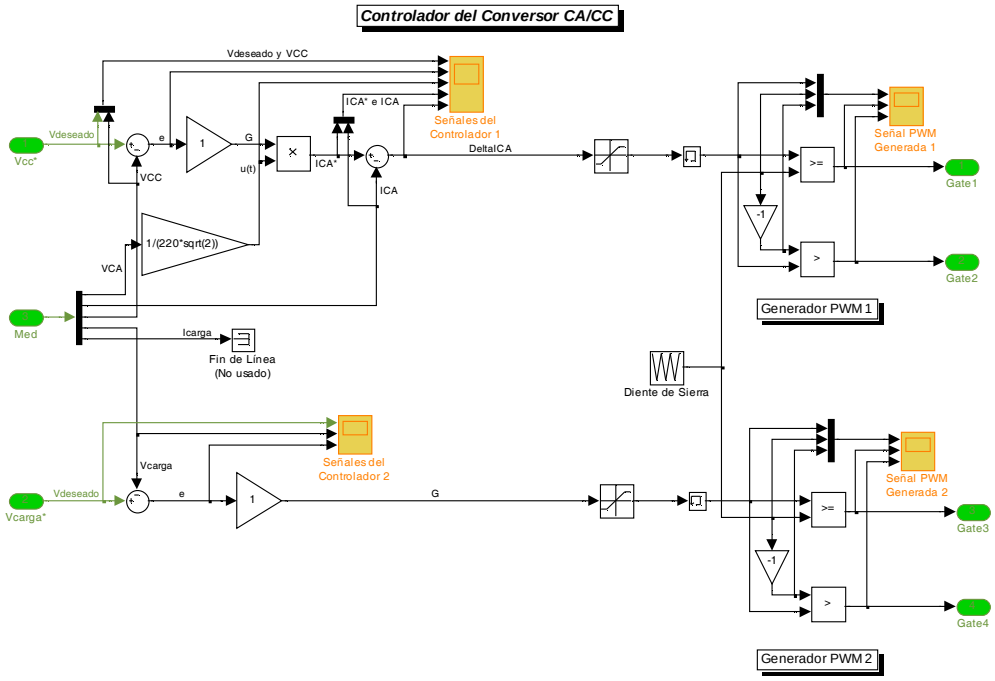

Fig. 7. Diagrama de Control para el Conversor CA/CC.

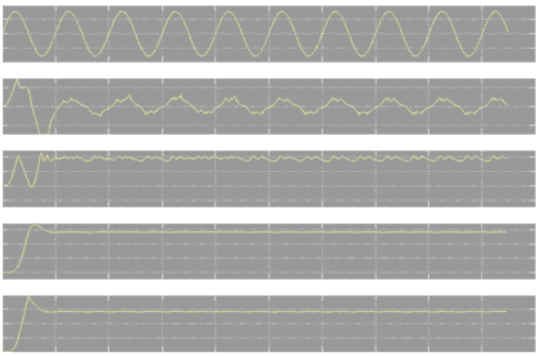

Fig. 8. Mediciones de la Simulación con 220VAC de Entrada.

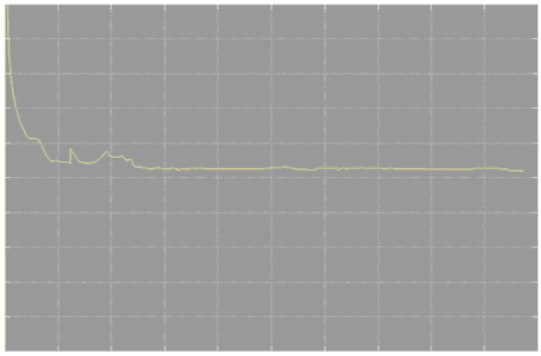

Fig. 9. Distorsión Armónica Total vs tiempo.

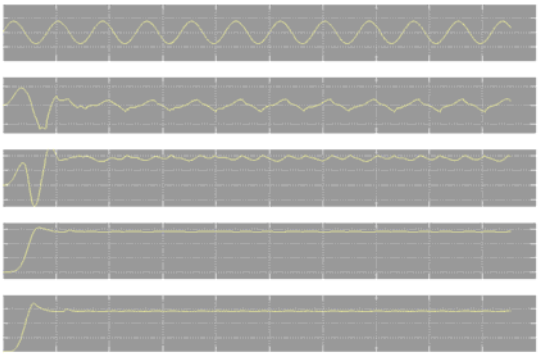

Fig. 10. Mediciones de la Simulación con 110VAC en 60Hz.

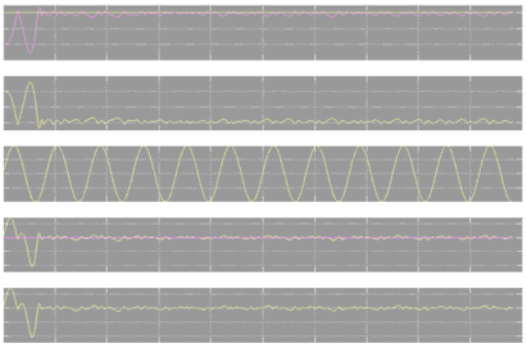

Fig. 11. Señales del Controlador 1.

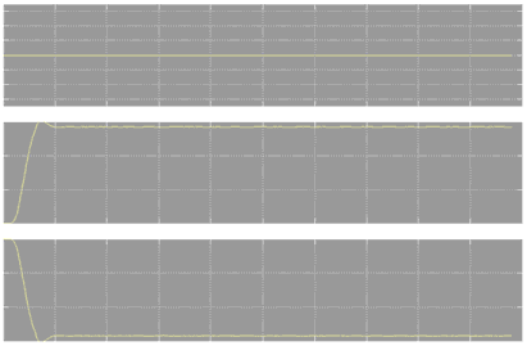

Fig. 12. Señales del Controlador 2.

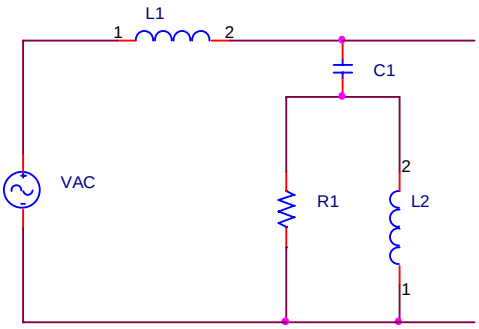

Fig. 13. Circuito del Filtro propuesto.

VI. Posibles Mejoras al Diseño

Existen muchos aspectos que pueden ser depurados para lograr un dispositivo más confiable y flexible. Se presentan a continuación varias ideas que pueden servir para futuros trabajos en esta área de desarrollo y para perfeccionamiento de las implementaciones.

Puede agregarse un filtro a la entrada del Conversor que suprima los pocos armónicos que son inyectados a la red, como puede verse en la Fig. 13. Este filtro es un pasabajos resonante. También se deberían mejorar las protecciones contra sobretensiones a la entrada y a la salida, contra cortocircuitos en la carga alimentada, etc., como son explicadas en [1] y en las referencias de [1].

Puede implementarse en el software del conversor otro tipo de controlador que mejore las características dinámicas del mismo, dado que en este trabajo el utilizado es un control proporcional. Puede implementarse fácilmente un controlador PI que elimine el error en estado estacionario del voltaje de CC del camino de corriente continua. También debería desarrollarse un encendido que genere menor distorsión. Además sería interesante analizar el controlador con anti-windup [4]. También puede experimentarse con controlador más avanzados como por ejemplo un controlador digital tipo Dead-Beat, el cual llega a estado estacionario en una cantidad de pasos igual al orden del sistema (en nuestro caso el circuito es de 4° orden). Otra posible opción es la implementación de un controlador por redes neuronales [8], el cual es adaptivo y muy veloz.

Además, se deberían mejorar los métodos de medición que posee actualmente el SAI, dado que algunos requieren de resistencias de potencia y filtros RC. Mejorando este punto, se lograría una mayor velocidad de respuesta dinámica en caso de corte de suministro eléctrico o pérdidas temporales.

Adicionalmente, se puede agregar un transformador 1:1 como elemento de desacoplo eléctrico [13]. Esto podría ser útil dependiendo de la aplicación final a la cual sea sometido el SAI, eliminando así, algunas fallas por electrostática [1].

VII. Futuros trabajos

Se incluirá en los próximos trabajos, el diseño de las estrategias de control, junto con su el análisisi de estabilidad de los lazos.

Adicionalmente se realizarán experimentos para poder corroborar los resultados obtenidos en las simulaciones para su uso comercial en *Sistemas de Alimentación Ininterrumpida*

VIII. Conclusiones

Se ha visto los efectos en la red de alimentación de un Rectificador de Onda Completa y como solucionarlo intercambiándolo por un Conversor CA/CC con corrección del Factor de Potencia. Además, pudo observarse un incremento en el rendimiento de la etapa de Carga de la Batería de los *Sistemas de Alimentación Ininterrumpida.*

.

Referencias

[1] Adrian Scillato, Federico Márquez, Alexis Pagani, Jorge Troncoso, Pablo Conejo. “Diseño e Implementación de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida”. Biblioteca de Electrónica de Potencia de la F.I. de la Universidad Nacional del Comahue.

[2] Gui-Jia Su, Donald J. Adams, Leon M. Tolbert. “Comparative Study of Power Factor Correction Converters for Single Phase Half-Bridge Inverters”. Oak Ridge National Laboratory. PESC2001.

[3] J. Rodriguez, J. Dixon, J. Espinoza, P. Lezana. “PWM Regenerative Rectifiers: State of the Art”. IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol.52 (1):5-22, 2005.

[4] Wen-Lung Lu, Sheng-Nian Yeh. “Design and Implementation of Uninterruptible Power Supplies for Fluorescent Lamps with Electronic Ballast”. National Taiwan University of Science and Technology. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC (A). Vol. 23, No. 6, 1999. pp. 728-735.

[5] Shigeyuki Funabiki, Noriyuki Toita, Abdallah Mechi. “A Single-Phase PWM AC to DC Converter with a Step up/down Voltage and Sinusoidal Source Current. IEEE IAS Conf. Rec. 1991, Vol. I, pp. 1017-1022.

[6] Dennis Braun, Thomas Gilmore, Walter Maslowski. “Regenerative Converter for PWM AC Drives”. IEEE IAS Conf. Rec. 1991, Vol. I, pp. 862-868.

[7] Bing Lu, Ron Brown, Marco Soldano. “Bridgeless PFC Implementation using One Cycle Control Technique”. Virginia Polytechnic Institute and State University & International Rectifier Corp. Presented at APEC ’05.

[8] Malik Elbuluk, Hei Wah Chan, Iqbal Husain. “Neural Network Controllers for Power Factor Correction of AC/DC Switching Converters”. University of Akron. IAS 1998.

[9] Sangsun Kim, P. Enjeti. “Digital Control of switching Power Supply – Power Factor Correction Stage”. Texas A&M University.

[10] Angel de Castro, Pablo Zumel, Oscar García, Teresa Riesgo, Javier Uceda. “Concurrent and Simple Digital Controller o fan AC/DC Converter with Power Factor Correction based on an FPGA”. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No. 1, January 2003.

[11] Ashish Pandey, Dwarka Kothari, Ashok Mukerjee, Bhim Singh. “Modeling and Simulation of Power Factor Corrected AC/DC Converters”. Indian Institute of Technology. International Journal of Electrical Engineering Education.

[12] Ayuda del Toolbox SimPower Systems del SIMULINK® de MATLAB® 7. Mathworks® 2004.

[13] C. P. Liu, Chi K. Tse, N. K. Poon, Bryan M. Pong, Y. M. Lai. “Synthesis of Input-Rectifierless AC/DC Converters”. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, No. 1, January 2004.