



Revista Difusiones, ISSN 2314-1662, Num. 15, Diciembre 2018, p 44-50

# El inversor multinivel en cascada: constitución y rol en las plantas fotovoltaicas de Jujuy

**Autor:** Luis Ernesto Ituarte

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy

Italo Palanca N° 10, San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina

E-mail: [lituarte@fi.unju.edu.ar](mailto:lituarte@fi.unju.edu.ar)

Recibió su título de Ingeniero Eléctrico Electrónico de la Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, Argentina, en 1998; su Maestría de Ciencias (M. Sc.) en Ingeniería Industrial de la Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, en 2001; su Maestría de Ciencias (M. Sc.) en Física con especialidad en Machine Vision del Royal Holloway College, University of London, Surrey, UK, en 2003.

El Ing. Ituarte es Profesor Adjunto en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy desde 2010. El Ing. Ituarte fue becario FULBRIGHT-CONICOR en el 2000 y fue becario CHEVENING-ANTORCHAS en el 2002. Sus intereses en investigación son Generación Distribuida, Sistemas de Energías Renovables, Instalaciones Fotovoltáicas e Inspección Visual Automática en Alimentos.

## Resumen

En Jujuy, el gobierno provincial ha decidido construir una central de generación fotovoltaica en la puna jujeña debido a las excepcionales condiciones de irradiación solar. El proyecto se ha denominado "Cauchari 1-2-3" y su financiación ha sido adjudicada en la Ronda 1.0 del programa "Renovar", gestionada por el Ministerio de Energía de la Nación. Específicamente, la planta fotovoltaica a construirse en Jujuy proveerá aproximadamente 300 MW de potencia nominal al sistema interconectado nacional (SADI) y su localización



está a más de 4000 metros de altura.

Actualmente, la empresa distribuidora de energía eléctrica local (EJESA) utiliza la tecnología de generación eléctrica fotovoltaica en configuración de sistema aislado o autónomo para el Mercado Eléctrico Disperso (MED) de la provincia de Jujuy.

Sin embargo, la incorporación de este tipo de planta de generación fotovoltaica de grandes dimensiones define un punto de inflexión en la utilización de tecnología de generación eléctrica de la provincia de Jujuy.

El objetivo de este artículo técnico es describir uno de los sistemas que integran el componente denominador Inversor de este sistema de generación eléctrica. Dicho sistema es el denominado inversor multinivel en cascada.

## Palabras clave

inversor, generación fotovoltaica, jujuy, puna

## Abstract

*Nowadays, government of Jujuy has decided to build a photovoltaic plant located in the Puna due to exceptional irradiance conditions. The name of this project is Cauchari 1-2-3 and its founding is provided by "Renovar" program, an action of Argentinian Energy Ministry. Certainly, this photovoltaic plant will provide 300 MW to the national energy system (SADI). In addition, its location has an altitude of 4000 meters.*

*However, building this new kind of photovoltaic plant establishes an inflection point from technological views in Jujuy.*

*The aim of this article is describe one of the vital component systems named Inverters. Specifically, this article will describe cascade multilevel inverter.*

## Key Words

*inverter, photovoltaic plant, jujuy, puna*



## Introducción

Recientemente, la República Argentina ha firmado compromisos internacionales como el Acuerdo de París, donde se establecen lineamientos para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 grados centígrados en un futuro próximo [1]. Para tal fin, el Ministerio de Energía y Minería de la Nación ha lanzado el programa “Renovar”. Dicho programa fue una convocatoria abierta de este ministerio para contratar en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), el abastecimiento de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables. Esta contratación fue ejecutada a través de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA). El objetivo del programa “Renovar” es evitar la emisión anual a la atmósfera de casi dos millones de toneladas de dióxido de carbono [2].

En Jujuy, el gobierno provincial ha elegido la opción tecnológica de construir centrales de generación fotovoltaica de grandes dimensiones. Este tipo de opción estaría concretada próximamente en los proyectos “Cauchari 1, 2 y 3” adjudicados por la Ronda 1.0 del programa “Renovar”. Estos proyectos, cuya potencia nominal rondaría los 300 MW, serán ejecutados por una unión transitoria de empresas (UTE) de origen privado y estatal. Específicamente, las plantas fotovoltaicas a construirse en Jujuy, solo encuentran una comparación dimensional en la recientemente inaugurada planta “El Romero Solar”, en la comuna de Vallenar, Atacama, Chile, cuya potencia nominal es de 196 MW [3].

Es preciso detallar que la utilización de la tecnología de generación eléctrica fotovoltaica ya es conocida por la empresa distribuidora de energía eléctrica local (EJESA) porque fue aplicada al Mercado Eléctrico Disperso (MED) de Jujuy [4].

No obstante, la construcción de estas centrales de generación fotovoltaica de grandes dimensiones representa un hito tecnológico para la provincia de Jujuy y no debería ser ignorada en los ámbitos ingenieriles.

Actualmente, las plantas de generación fotovoltaica presentan un diseño donde participan numerosas ramas de la ingeniería. En particular, el rol de la ingeniería electrónica se destaca en dos de sus componentes. El primer componente es el panel fotovoltaico y el segundo componente es el inversor.

Este artículo técnico discute un tipo de inversor electrónico denominado inversor multinivel en configuración cascada. A continuación, detallaremos el concepto de inversor.

## Definición de Inversor

Existen muchas formas de presentar este dispositivo electrónico denominado inversor. Usualmente, la definición del término inversor es traducción directa del término en inglés “inverter”. También, se suele utilizar como sinónimo los términos conversor (En inglés,



“converter”) y ondulator (En francés “ondulateur”). En alemán, el inversor se denomina “Wechselrichter”.

Sin embargo, la función primordial de un inversor en un sistema de generación eléctrica fotovoltaica es convertir la tensión continua (“DC voltage”) provista por los paneles solares en corriente alterna (“AC current”) preparada para su consumo, con una mínima inyección de corrientes armónicas [5].

Asimismo, es posible afirmar que los inversores poseen dispositivos de potencia, como tiristores, transistores de efecto de campo de metal-oxido-semiconductor (MOSFET) ó transistores de compuerta aislada (IGBT), para realizar una de las tareas centrales: la conmutación. Debido a ello, los inversores pueden trabajar en áreas industriales muy diversas como, por ejemplo, los autos eléctricos y las plantas de generación fotovoltaica.

En resumen, un inversor instalado en una planta fotovoltaica es un dispositivo que “invierte” la tensión continua de los paneles fotovoltaicos en tensión y corriente alterna para su utilización, por ejemplo, en la red eléctrica. Seguidamente, explicaremos el funcionamiento del dispositivo denominado inversor multinivel en configuración cascada.

## El Inversor Multinivel en Cascada

De acuerdo a la literatura académica [6], una clasificación racional de los inversores multinivel podría estar basado en su topología. En este caso, los inversores multinivel podrían pertenecer a cuatro tipos de topología. La primer topología es la del inversor de punto neutro enclavado (“Neutral Point Clamped Inverter”), la segunda es la del inversor con capacitor flotante (“Flying Capacitor Inverter”), la tercera es la del inversor en cascada de puentes H (“Cascaded H-Bridge Inverter”) y la cuarta es la de los inversores híbridos.

Específicamente, el inversor multinivel en cascada de puentes H es el objetivo de nuestro artículo. Este inversor multinivel en cascada (“multilevel cascade inverter”) es un dispositivo compuesto por semiconductores de potencia y fuentes de tensión cuya salida permite la adición de los voltajes de cada celda en forma de ondas cuadradas [7]. La Fig. 1 describe la constitución de una celda multinivel de este inversor. Debido a ello, este inversor puede conectar su salida a circuitos de media y alta tensión mientras sus semiconductores operan a valores de baja tensión.

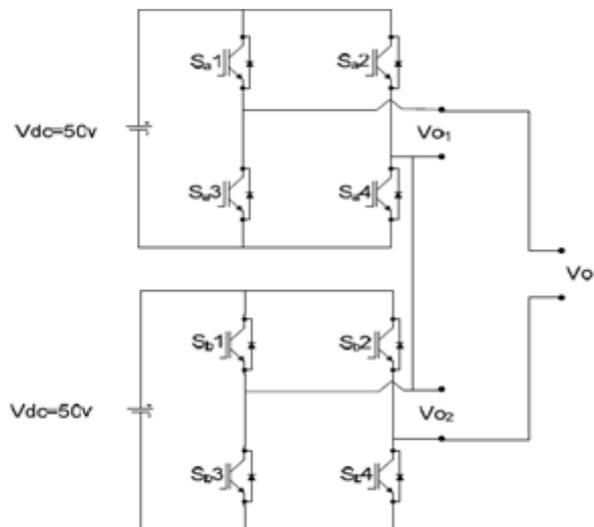


Fig. 1 – Ejemplo de Inversor Multinivel en Cascada de puentes H (Lakwal et al [8])

Si observamos la celda del inversor multinivel de la Fig. 1 podemos verificar que están compuestas por un puente H de IGBTs ( $S_{a1}$ ,  $S_{a2}$ ,  $S_{a3}$  y  $S_{a4}$ ) y una fuente de tensión continua ( $V_{dc}$ ). Cada inversor posee dos tipos de generación de tensión. La primera es la generación de subniveles (Celdas multinivel) y la segunda es la generación de polaridad (Puente H). Mientras la generación de subniveles trabaja con conmutaciones de baja frecuencia y tensión, la generación del puente H trabaja a tensiones altas con estrategias de modulación en alta frecuencia [9]. La Fig. 2 detalla una simulación de la salida de tensión de un inversor multinivel, bastante aproximada a una senoide, y su análisis de Fourier correspondiente. Adicionalmente, los inversores multinivel en cascada poseen gran aceptación en la generación fotovoltaica debido a diversas características técnicas. Primero, estos pueden generar tensiones de salida con distorsiones mínimas. Segunda, estos pueden operar a frecuencias de conmutación más bajas. Finalmente, estos inversores generan a su salida tensiones en modo común (“Common Mode Voltages”) de valores reducidos [7]. En breve, los inversores multinivel en cascada poseen ventajas significativas para su utilización en las plantas de generación fotovoltaicas como su voltaje de salida en niveles de alta tensión y su distorsión mínima.

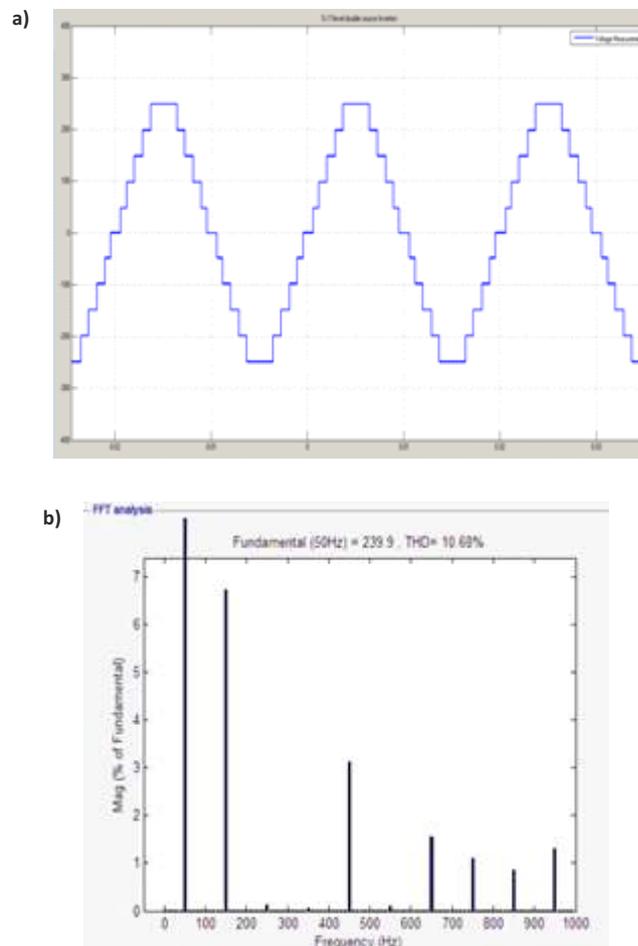


Fig. 2 – a) Simulación en Matlab Simulink de la salida de tensión de un inversor multinivel en cascada, b) Análisis de Fourier para la salida de tensión del mencionado inversor (Yahya et al [9])

## Conclusiones

El inversor multinivel en configuración cascada es uno de los componentes electrónicos más utilizados en las plantas fotovoltaicas de generación de energía eléctrica renovable. Este inversor posee características técnicas que benefician al funcionamiento general de los circuitos eléctricos.

No obstante, este inversor multinivel requiere una capacitación significativa en los principios de ingeniería electrónica para comprender su elección, su aplicación y su mantenimiento. Dicha capacitación a nivel de ingeniería podría ser realizada por una institución de educación superior. Razón por la cual, la Comisión de Ingenieros Electrónicos (CIET) del Colegio de Ingenieros de Jujuy promueve la implementación de la carrera de Ingeniería Electrónica en una universidad pública jujeña (UNJu) para que se puedan garantizar los futuros recursos humanos dedicados a esta tecnología.



## Bibliografía

- [1] Naciones Unidas. (2015). “Combatir el Cambio Climático” descargado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/combatar-el-cambio-climatico/>
- [2] Ministerio de Energía y Minería (2016). “El presidente Macri cerró el acto de firma de más contratos del Programa RenovAr Ronda 1.0” descargado de <https://www.minem.gob.ar/prensa/25967/el-presidente-macri-cerro-el-acto-de-firma-de-mas-contratos-del-programa-renovar-ronda-1-0.html>
- [3] Acciona Energía. (2016). “Planta Fotovoltaica El Romero Solar” descargado de <http://www.acciona-energia.com/es/areas-de-actividad/fotovoltaica/instalaciones-destacadas/planta-fotovoltaica-el-romero-solar/>
- [4] Torrellas, R.E. (2016). “Energías Renovables en la Provincia de Jujuy”. Revista Proyección N° 82, pp. 14-15.
- [5] Blaabjerg, F.; Chen, Z.; Kjaer, S. B. (2004). Power Electronics as Efficient Interface in Dispersed Power Generation Systems. IEEE Transactions on Power Electronics, 19 (5), pp. 1184-1194.
- [6] Rahul, A.; Kaarthik, R.S.; Gopakumar, K.; Franquelo, L.G.; Leon, J. L. (2016). A Predictive Capacitor Voltage Control of a Hybrid Cascaded Multilevel Inverter With a Single DC Link and Reduced Common Mode Voltage Operation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, August 2016, pp. 1-8.
- [7] Rodriguez, J., Lai, J. S., & Peng, F. Z. (2002). Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications. IEEE Transactions on industrial electronics, 49(4), pp.724-738.
- [8] Lakwal, J.; Deshpande, D.M.; Suresh, A.; Mittal, A. (2013). Cascaded Multilevel Inverter Topologies for Photovoltaic Power Generation Systems. Int. Journal of Chem. Tech. Res. 2013, 5(2), pp. 1094-1100.
- [9] Yahya, A.; Usman Ali, S. M. (2016) A Novel Topology of Symmetric Multilevel Inverter. 1st Int. Elect. Eng. Congress (IEEC 2016).