

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica

Investigación Aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTOS:

1. Automatización y Control Industrial

2.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Calidad y Uso eficiente de la Energía *Eléctrica ✓*

2. Control Electrónico de Potencia y Energía ✓

CAMPO DEL CONOCIMIENTO (Ver Anexo A: Detalle de los campos del conocimiento)

Campo amplio	Campo detallado	Campo específico
Ingeniería, Industria y Construcción	Ingeniería y Profesiones Afines	Electricidad y energía

DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

Ciencias Naturales y Exactas	
Ingeniería y Tecnologías	X
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)

Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	
Exploración y explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	X
Producción y tecnología industrial	
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	

Alcance Territorial (Marque X, solamente una opción)

Institucional	Nacional	
Parroquial	Internacional	X
Cantonal	No definido	



Provincial

1	Proyecto de Investigación	
	Título (mínimo 10 palabras): Diseño y Simulación de un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red Eléctrica basado en Micro-inversor con Conversor Flyback de entrada y Control No-Lineal para aplicaciones Residenciales y Comerciales.	
	Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) <p>En los últimos años, el uso de energías verdes para la protección del medio ambiente, ha incrementado el interés por el uso de fuentes fotovoltaicas de energía. Adicionalmente, con la reducción de costos de las celdas fotovoltaicas, se prevé que las fuentes de energía solar sean el principal contribuidor de energía eléctrica en los años 2040.</p> <p>Los módulos fotovoltaicos de corriente alterna, llamados micro-inversores, están incursionando en el campo de la producción de energía eléctrica debido a las ventajas que presentan frente a las topologías de conexiones en serie y/o paralelo de los módulos solares. Sin embargo de que, en la literatura los investigadores han propuesto distintos métodos para evitar pérdidas de potencia debido al efecto sombra, el micro-inversor ofrece las ventajas de utilizar métodos convencionales para obtener la máxima potencia incrementando la eficiencia del conjunto de módulos incluido a esto que los costos de producción e instalación son reducidos sumado a la fácil instalación [8].</p> <p>Conociendo que los sistemas fotovoltaicos son sistemas no-lineales, en este proyecto se propone en primera instancia diseñar y simular un micro-inversor tipo flyback conectado a la red de energía eléctrica para controlar la potencia activa inyectada a la red utilizando técnicas de control no-lineal tales como Control Backstepping, pero dependiendo de las necesidades en el diseño se podría añadir otros tipos control.</p>	
	Palabras clave (4-6): Sistemas Fotovoltaicos, Micro-inversor, Potencia Activa, Control No-Lineal	

2 **Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

2.1 **Objetivos**

2.1.1 **Objetivo General**

- Estudiar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica basado en micro-inversor con conversor flyback de entrada y control no-lineal

2.1.2 **Objetivos Específicos**

- a. Diseñar y simular un prototipo de conversor DC-DC tipo flyback.
- b. Diseñar y simular el algoritmo de control para seguimiento del punto de máxima potencia aplicado al conversor flyback.



- c. Diseñar y simular un sistema fotovoltaico con micro-inversor y convertidor de enlace tipo flyback en lazo abierto, cuya corriente es modulada con una señal de control sinusoidal durante cada medio periodo.
- d. Diseñar y simular un controlador convencional y el controlador no-lineal para el sistema propuesto.

2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- a. Uso de software y hardware específicos necesarios para el desarrollo del proyecto
- b. Falta de medios económicos

2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

- a. ¿No se necesitan de algoritmos sofisticados para seguir el punto de máxima potencia en un sistema fotovoltaico que incorpora un microinversor?
- b. ¿Con el sistema propuesto, mejorará el rendimiento del sistema fotovoltaico cuando el sistema de celdas fotovoltaicas es afectado por la sombra?
- b. Los convertidores DC-DC tipo flyback presentan dificultades de control debido a las características no-lineales del sistema. ¿El uso de técnicas de control no lineal como backstepping facilitará el manejo de las no-linealidades?

2.3 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Para varios valores de irradiación solar, y utilizando un algoritmo de seguimiento del máximo punto de potencia (MPPT siglas en Ingles) se verificará el funcionamiento del algoritmo clásico. Se espera extraer una potencia muy cercana a las especificaciones dadas por el fabricante de las celdas fotovoltaicas.
- b. Para valores fijos de voltaje de entrada al convertidor, se verificará el funcionamiento del convertidor DC-DC con salida de corriente modulada cada semiperiodo con una señal de control sinusoidal y sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica. Se espera obtener un tipo de forma de onda de corriente sinusoidal pura rectificadas.
- c. El inversor sincronizado a la frecuencia de la red mediante el uso de PLLs, deberá presentar una onda de salida sinusoidal cuya corriente deberá estar en fase con el voltaje para garantizar factor de potencia unitario y por tanto la inyección de potencia activa a la red eléctrica.

3	Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación
----------	--

La contaminación ambiental producto del uso de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica ha llevado al mundo a preocuparse de la reducción de la contaminación mediante el uso de fuentes renovables de energía. El sol es una de las principales fuentes renovables que está presente en todo el mundo y más aún, Ecuador es privilegiado por estar situado en la línea ecuatorial y gozar de mayor irradiación durante todo el año. En tal sentido, el proyecto aportará a la disminución de la contaminación ambiental y el uso eficiente de otras fuentes de energía, al aprovechamiento de la energía solar para convertirla en energía eléctrica a través de conversión estática de energía mediante el uso electrónica de potencia y nuevas técnicas de control. Cabe indicar que está directamente relacionado con las líneas de investigación del DACI que son: Calidad y uso Eficiente de Energía y Control Electrónico de Potencia y Energía.

4	Impacto de la investigación
----------	------------------------------------

4.1 Impacto Social (máximo 250 palabras)





En un futuro proyecto, una vez que se compruebe en simulación el funcionamiento del esquema propuesto, la construcción del prototipo del micro-inversor fotovoltaico y la difusión de su utilidad a nivel domiciliario para la disminución del consumo del suministro de la empresa eléctrica, hará que las entidades de gobierno y empresas particulares se interesen en la producción en serie de estos módulos para que sean utilizados a nivel domiciliario y comercial.

4.2 Impacto Económico (máximo 250 palabras)

La producción de los micro-inversores fotovoltaicos con tecnología nacional reducirá los costos de producción y por tanto el costo de los módulos fotovoltaicos en el mercado, haciéndoles asequibles económicamente para su instalación a nivel domiciliario y comercial.

4.3 Impacto Político (máximo 250 palabras)

El uso de las fuentes renovables de energía en particular de los módulos fotovoltaicos de energía, cuya electrónica de potencia y control es de invención nacional, políticamente tendrá gran impacto en la sociedad ecuatoriana ya que como país se estaría incursionando en el uso de la energía solar no solo con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica suministrada por las empresas eléctricas sino también por apoyar en la reducción de la contaminación ambiental producida por el uso centrales terminas y otras fuentes convencionales de producción energía eléctrica que dependen de los derivados del petróleo.

4.4 Impacto Científico (máximo 250 palabras)

Puesto que el controlador del micro-inversor fotovoltaico será diseñado con una innovadora técnica de control, científicamente esta nueva técnica puede ser utilizada para el diseño de estaciones fotovoltaicas para carga de baterías de vehículos eléctricos o para el control de potencia activa y reactiva dando soporte a la red eléctrica en las horas picos o en casos de bajos o sobre voltajes en los puntos de alimentación a la red y otros consumidores.

4.5 Otro Impacto (máximo 250 palabras)

El uso de fuentes de energía solar para la producción de energía eléctrica a nivel residencial y comercial influirá indirectamente en la disminución de la contaminación ambiental producida por las centrales que utilizan derivados de petróleo para la producción de energía eléctrica.

5 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Publicaciones científicas y/o patente (obligatorio);	X
b. Disertación a la comunidad politécnica;	X
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	

6 Descripción, metodología y diseño del proyecto

6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)



La energía fotovoltaica es una de las más importantes fuentes de energía renovable que aparece como solución al rápido crecimiento de la demanda de energía e incremento de la contaminación ambiental debido al uso de combustibles fósiles [1].

En estos días, la generación distribuida de energía en áreas residenciales utilizando paneles solares ha sido aceptada e incluso apoyada para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos integrados de edificios y micro-redes eléctricas (microgrids) [2]. En la mayoría de las aplicaciones, los paneles solares son conectados en serie y/o en paralelo para alimentar un convertidor central. Para obtener el máximo punto de operación se utilizan distintos algoritmos de seguimiento conocidos como MPPT (de las siglas en inglés), pero una pérdida considerable de energía puede producirse debido a la orientación variable de los paneles solares y al efecto de sombra [3]. Varias investigaciones han sido presentadas para la solución de los efectos causados por las sombras parciales o cualquier objeto que obstruya la incidencia directa de la irradiación a los módulos fotovoltaicos como se presenta en [4], [5]. Estas investigaciones presentan configuraciones de convertidores DC-DC conectados en serie y/o paralelo conectados a un inversor central pero la confiabilidad del sistema disminuye en caso de falla del inversor central.

En la literatura científica existen módulos fotovoltaicos con inversor integrado, cuya topología tiene como enlace entre el módulo fotovoltaico y el inversor un convertidor flyback. Las técnicas de control utilizadas son Control Fuzzy, Control PID, Control Optimo tal como en [6], [7], [8]. Sin embargo, el diseño de los controladores es uno de los mayores problemas debido a que este tipo de configuraciones son muy inestables y no tienen un amplio rango de control.

Conociendo que los sistemas fotovoltaicos con convertidor flyback de enlace, son altamente inestables, en [9] es presentado un control repetitivo (RC) tipo discreto para asegurar la estabilidad del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, el diseño del sistema es altamente complejo y el control repetitivo sufre de una inherente respuesta lenta [10]. El uso de los convertidores flyback conectados a un micro-inversor para obtener corriente alterna desde un panel solar, ha llamado la atención de los investigadores por ser simple en estructura, bajo costo y alta eficiencia [9]. En [11] se presenta el diseño de un micro-inversor utilizando la técnica de control Proporcional Resonante. El sistema propuesto funciona en un modo híbrido de conducción continua y discontinua. Pero, el sistema necesita de un compensador de armónicos para cumplir con las normas referentes a límite de armónicos inyectados a la red eléctrica.

En este proyecto se propone diseñar, simular y realizar pruebas experimentales con equipo disponible un módulo fotovoltaico integrado, en los que un micro-inversor será alimentado desde el módulo fotovoltaico de 200W a través de un convertidor flyback utilizando técnica de control no lineal. El módulo fotovoltaico, utilizando un algoritmo tradicional para seguir el punto de máxima potencia como el de Conductancia Incremental, generará 110 Vdc mediante el uso de convertidor flyback, el mismo que elevará el voltaje de entrada de 48 Vdc a 110 Vdc. Se propone obtener una onda de corriente DC pulsante similar a un sistema de rectificación, para esto, la trayectoria de control será una onda sinusoidal rectificadas sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica. Esto ayudará para que los elementos de potencia del inversor sean conmutados a 60 Hz disminuyendo así las pérdidas por conmutación. La corriente alterna obtenida desde el inversor podrá ser conectada directamente a la red eléctrica.

Para el diseño del proyecto primeramente se realizará la simulación del sistema utilizando el paquete de Matlab/Simulink.

Una vez que se verifique en simulación el correcto funcionamiento del sistema propuesto, a futuro se procederá con el diseño de la electrónica de potencia necesaria para la construcción del sistema fotovoltaico.

Bibliografía

- [1] N. Skik, A. Abbou, 2016, "Robust Adaptive Integral Backstepping Control for MPPT and UPF of PV System Connected to the Grid," *7th International Renewable Energy Congress (IREC)*, pp. 1-6, May-2016, Hammamet, Tunisu, IEEE.
- [2] M. Islam, S. Mekhilef, M. Hasan, 2015, "Single phase transformerless inverter topologies for grid-tied photovoltaic system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 46, 2015.





- [3] Romero E., Spagnuolo G., Franquelo L., Ramos C., Suntio T., Xiao W., 2013, “ Grid Connected Photovoltaic Generations Plants,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 6, September-2013.
- [4] G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, “Distributed maximum power point tracking: Challenges and commercial applications,” *Automatika*, vol. 53, no. 2, pp. 128–141, 2012.
- [5] S. MacAlpine, R. W. Erickson, and M. Brandemuehl, 2013, “Characterization of power optimizer potential to increased energy capture in photovoltaic systems operating under non-uniform conditions,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, June -2013.
- [6] M. Hamad, A. Fahmy, and M. Abdel-Geliel, 2013, “Power Quality Improvement of a Single-Phase Grid-Connected PV System with Fuzzy MPPT Controller,” *39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics*, pp. 1839-1844, Nov-2013.
- [7] E. Fonkwe, W. Xiao, and V. Khadkikar, 2013, “Dynamic Modeling and Control of Interleaved Flyback Module-Integrated Converter for PV Power Applications,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 3, March-2014.
- [8] Z. Zhang, X. He, and Y. Liu, 2013, “An Optimal Control Method for Photovoltaic Grid-Tied-Interleaved Flyback Microinverters to Achieve High Efficiency in Wide Load Range,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 11, Nov-2013.
- [9] S. Lee, W. Cha, B. Kwon, and M. Kim, 2016, “Discrete-Time Repetitive Control of Flyback CCM Inverter for PV Power Applications,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 2, February- 2016.
- [10] M. Dai, M. Marwali, J. Jung, and A. Keyhani, 2008 “A Three-Phase Four-Wire Inverter Control Technique for a Single Distributed Generation Unit in Island Mode,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 1, January - 2008
- [11] S. Lee, W. Cha, J. Kwon, and B. Kwon, 2016, “Control Strategy of Flyback Microinverter With Hybrid Mode for PV AC Modules,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 2, February-2016

7	Infraestructura, equipos y fondos adicionales.
----------	---

7.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Laboratorio	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Electrónica de Potencia y Control de Máquinas	Multímetro digital	Laboratorio E110 DACI

7.2 Breve justificación del equipo requerido

Estos equipos están disponibles en el laboratorio de Electrónica de Potencia.

- Módulo de celdas fotovoltaicas
- Medidor de irradiación
- Computador con software de diseños y simulación (La EPN tiene las licencias del software de simulación Matlab/Simulink).

Para el desarrollo del proyecto, adicionalmente a los equipos existentes en el laboratorio de Electrónica de Potencia y Control de Máquinas, se necesitan los elementos antes listados, los mismos que se instalarán una mesa de trabajo para incorporar datos reales de irradiación y potencia obtenida del módulo fotovoltaico a las simulaciones.

7.3 Fondos Adicionales

- Fondos personales