

Reporte No. 3: Actualización y Pruebas de Integración de Turbina Eólica en la Microrred

Universidad de Nariño
Laboratorio de Microrredes y Energías
Facultad de Ingeniería
San Juan de Pasto, Colombia
Bajo la supervisión del Ing. PhD. Javier Revelo

Resumen—Este reporte documenta las actividades de integración del sistema eólico ENAIR a la microrred experimental, incluyendo modificaciones de conexiones, pruebas de inyección de energía utilizando el controlador FlexMax 60, y la reparación del sistema de disipación por resistencia. Se evalúan diferentes configuraciones de conexión para la transferencia de energía eólica hacia la red eléctrica a través del inversor MultiPlus 3000VA 24V.

Index Terms—Microrred, inversor, sistemas eólicos, controlador MPPT, inyección a red, VRM, Victron Energy, ENAIR

I. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Microrredes y Energías de la Universidad de Nariño cuenta con una microrred experimental compuesta por un inversor MultiPlus 3000VA 24V, un Color Control GX, un controlador de carga OutBack FlexMax 60, y un Smart Shunt. Adicionalmente, el sistema incluye una fuente de energía alternativa proveniente de un aerogenerador conectado a través de un conversor ENAIR AC/DC con sistema de disipación por resistencia, como se muestra en el diagrama de la Figura 1.

En reportes previos se demostró la capacidad del MultiPlus para realizar inyección a la red eléctrica con la configuración adecuada. El presente trabajo busca integrar efectivamente la turbina eólica al sistema para aprovechar esta fuente de generación renovable y optimizar la inyección de energía a la red.

II. OBJETIVO

Integrar el sistema de generación eólica ENAIR a la microrred experimental para inyectar su energía a la red eléctrica, evaluando diferentes configuraciones de conexión del sistema de control y disipación de excedentes.

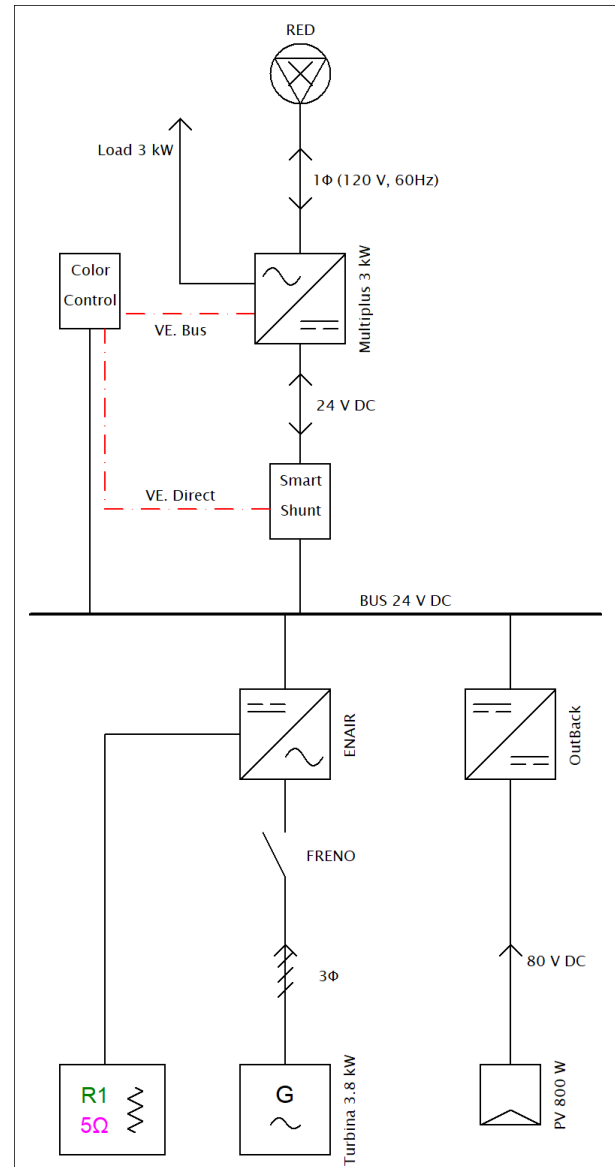


Figura 1. Diagrama unifilar de la microrred del Laboratorio de Microrredes y Energías de la Universidad de Nariño.

III. METODOLOGÍA

III-A. Configuración Experimental con FlexMax 60

Se implementó una conexión experimental utilizando el controlador FlexMax 60 como interfaz entre el convertor ENAIR y el bus DC de 24V del sistema. Esta configuración se eligió considerando que el FlexMax 60 es capaz de manejar los niveles de voltaje del ENAIR, aunque presenta limitaciones en corriente.

Las especificaciones técnicas relevantes son:

- FlexMax 60: Límite de corriente 60A, potencia máxima 1600W en bus de 24V
- ENAIR: Capacidad máxima de corriente 120A
- MultiPlus: 3000VA, 24V, 70A

La configuración implementada se presenta en la Figura 2.

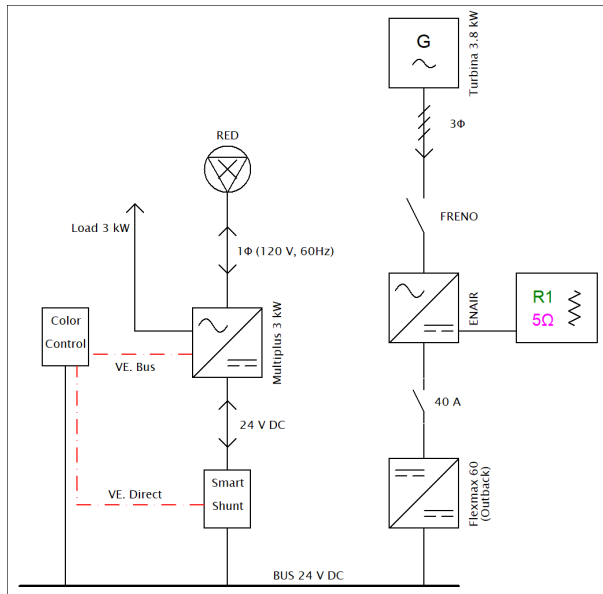


Figura 2. Diagrama unifilar de la conexión experimental para inclusión de la turbina en la microrred.

III-B. Evaluación de Conexión en Paralelo

Se evaluó la posibilidad de utilizar dos controladores FlexMax 60 en paralelo para dividir la potencia del ENAIR. Sin embargo, según especificaciones del fabricante, la conexión en paralelo solo se recomienda para las salidas, no para las entradas. Se realizaron pruebas breves para verificar esta limitación.

III-C. Conexión Directa al Bus DC

Como alternativa, se evaluó la conexión directa del convertor ENAIR al bus DC del MultiPlus, aprovechando la capacidad del inversor para mantener la regulación de voltaje durante la inyección a la red eléctrica.

III-D. Diagnóstico y Reparación del Sistema de Disipación

Se diagnosticó el estado del sistema de resistencia de disipación conectado al ENAIR, identificando fallas en los módulos resistivos. Se procedió con el desmontaje, inspección y reparación de las conexiones defectuosas.

IV. RESULTADOS

IV-A. Pruebas con FlexMax 60

Las pruebas demostraron que es posible inyectar energía eólica a la red a través del FlexMax 60. Sin embargo, el sistema presenta limitaciones significativas:

- Funcionamiento estable hasta 1600W
- Protección por sobrecorriente activada al alcanzar aproximadamente 2100W
- El controlador corta la conversión como medida de protección ante picos altos de la turbina

IV-B. Evaluación de Conexión en Paralelo

Las pruebas confirmaron que dos controladores FlexMax 60 en paralelo se interfieren mutuamente en la entrada, descartando esta opción. Durante esta prueba se observó que el ENAIR mantiene un voltaje estable en su salida únicamente cuando la energía se dirige hacia la red; de lo contrario, el voltaje se eleva hasta 70V.

IV-C. Conexión Directa al Bus DC

La conexión directa del ENAIR al bus DC del MultiPlus demostró:

- Estabilidad de voltaje en el bus DC mantenido en 24V mientras el inversor está conectado a la red
- Capacidad de inyección hasta 2000W sin etapas intermedias de conversión
- Elevación del voltaje en el bus DC durante desconexión de la red eléctrica

IV-D. Sistema de Disipación por Resistencia

IV-D1. Diagnóstico: La resistencia presentaba una falla evidente con un valor de 130 kΩ, causando elevación continua del voltaje en el bus de salida del ENAIR. La inspección reveló:

- Dos módulos con circuito abierto
- Un módulo desconectado por rotura de conexión
- Quemaduras visibles en los módulos afectados (Figura 3)

IV-D2. Reparación: Se reconectaron los módulos ajustando las conexiones defectuosas. Tras la reparación, la resistencia presentó un valor de entrada de 3.6 Ω, valor adecuado para la disipación de excedentes de energía.

IV-E. Pruebas del Sistema Integrado

Las pruebas finales del sistema reparado demostraron:

- Capacidad de la turbina para entregar energía a la red a través del MultiPlus mediante conexión directa
- Funcionamiento adecuado de la resistencia reparada durante ausencia de red eléctrica
- Disipación efectiva de potencia con calentamiento controlado de la resistencia
- Elevación transitoria y controlada del voltaje de salida del ENAIR



Figura 3. Fallas identificadas en módulos de la resistencia conectada al ENAIR

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten identificar tres configuraciones viables para la integración del sistema eólico:

1. **Configuración con FlexMax 60:** Ofrece un control regulado pero limitado en potencia (máximo 1600W)
2. **Conexión directa:** Permite mayor transferencia de potencia (hasta 2000W) pero requiere presencia de red para regulación
3. **Sistema híbrido:** Combinación de conexión directa con sistema de disipación reparado para operación en isla

La reparación exitosa del sistema de disipación es vital para el funcionamiento seguro durante operación en isla, evitando sobrevoltajes que podrían dañar los equipos.

VI. CONCLUSIONES

Se logró la integración exitosa del sistema eólico ENAIR a la microrred experimental, estableciendo múltiples configuraciones de operación según las condiciones de red. La reparación del sistema de disipación garantiza la operación segura en todas las modalidades.

El sistema demuestra capacidad de inyección de hasta 2000W de energía eólica a la red eléctrica, superando las limitaciones iniciales del controlador FlexMax 60 mediante conexión directa al bus DC.

VII. TRABAJOS FUTUROS

1. Realizar pruebas extendidas de la turbina en funcionamiento continuo
2. Estudiar el comportamiento del sistema de 24V con la batería MUST integrada
3. Realizar la distribución optimizada de equipos en el espacio disponible del laboratorio
4. Proceder con la instalación definitiva de equipos en ubicaciones asignadas
5. Ejecutar pruebas de continuidad y funcionamiento del sistema completo

REFERENCIAS

- [1] Victron Energy, "Color Control GX Manual", Victron Energy B.V., 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com/live/ccgx:start>
- [2] Victron Energy, "MultiPlus Inverter/Charger Manual", Victron Energy B.V., 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com/inverters/multiplus>
- [3] Victron Energy, "VRM Portal Manual", Victron Energy B.V., 2023. [En línea]. Disponible: https://www.victronenergy.com/live/vrm_portal:start
- [4] Victron Energy, "ESS - Energy Storage System Manual", Victron Energy B.V., 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com/live/ess>
- [5] Victron Energy, "Firmware Updates and VE.Configure", Victron Energy B.V., 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com/support-and-downloads/software>
- [6] OutBack Power, "FlexMax 60/80 MPPT Charge Controller Installation and User's Manual", OutBack Power Inc., 2022.