

## **CASO DE ESTUDIO:**

# ***GUÍA DE SELECCIÓN DE DYNAMIC VOLTAGE RESTORERS Y APLICACIÓN REAL***

Escrito por Ing. Susan Morales e Ing. Valeria Jarquín Vargas, 2025-06-15.

## **SINOPSIS**

En las últimas décadas, los problemas asociados con la calidad de la energía eléctrica se han vuelto más frecuentes y críticos, especialmente en sistemas que alimentan cargas sensibles como equipos médicos, sistemas de automatización y procesos industriales. Entre las perturbaciones más comunes están las caídas (sags) y elevaciones (swells) de tensión, las cuales pueden provocar pérdidas económicas, fallos en la producción y daños en equipos. Para mitigar estos eventos, los dispositivos electrónicos de potencia conocidos como Custom Power Devices (CPDs) han ganado popularidad, siendo el Dynamic Voltage Restorer (DVR) uno de los más eficientes y rentables.

## **DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)**

El DVR es un dispositivo de compensación en serie basado en convertidores electrónicos de potencia, diseñado para proteger cargas críticas contra disturbios de tensión, especialmente sags y swells. Funciona inyectando una tensión de compensación en serie con la red para mantener la tensión en el punto de carga dentro de niveles aceptables.

Principio de funcionamiento

El DVR opera principalmente en tres modos:

1. Modo de espera (standby): el DVR está conectado pero sin intervenir, ya que la tensión está dentro de los límites.
2. Modo de inyección: ante una perturbación, el DVR inyecta una tensión compensatoria para mantener estable la tensión de carga.
3. Modo de protección: en caso de cortocircuito en la carga, el DVR se protege redireccionando la corriente mediante un camino alternativo (interruptores, varistores o tiristores).

La estructura típica de un DVR incluye (como se muestra en la Figura 1):

- Convertidor de tensión
- Transformador de inyección
- Filtro de salida
- Almacenamiento de energía
- Conmutador de bypass

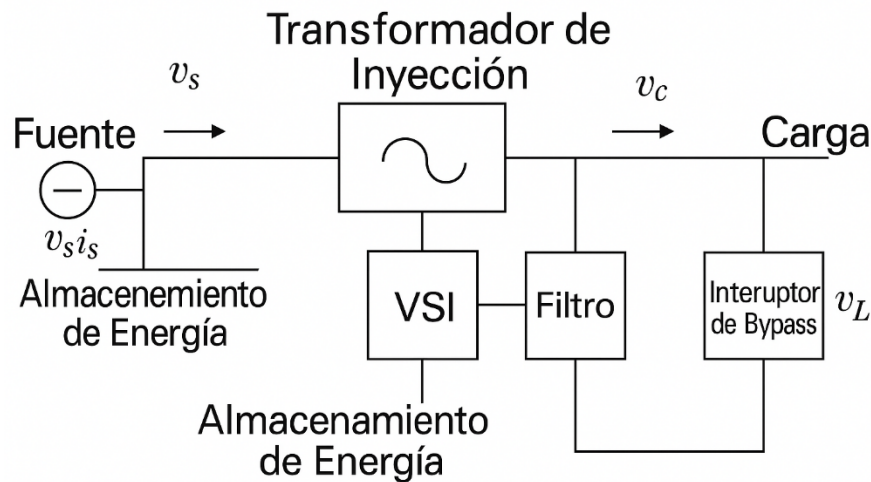


Figura 1. Estructura típica de un Dynamic Voltage Restorer.

Existen varias estrategias de compensación utilizadas en DVR, entre ellas destacan:

- In-Phase Compensation: inyecta una tensión en fase con la tensión de la red. Minimiza el requerimiento de tensión, pero no compensa el salto de fase, lo cual puede causar transitorios y corrientes circulantes.
- Pre-Sag Compensation: restaura completamente la tensión anterior al disturbio, incluyendo magnitud y ángulo de fase. Es más efectiva pero requiere una mayor capacidad de almacenamiento energético y un convertidor más robusto, es útil para sags.
- Energy-Minimized Compensation: busca minimizar el intercambio de potencia activa, inyectando principalmente potencia reactiva. Es útil para sags leves, pero no adecuada para cargas sensibles debido al salto de fase residual.

Al seleccionar un DVR se deben considerar los siguientes aspectos:

- Nivel de tensión del sistema (baja, media tensión)
- Profundidad y duración de las perturbaciones esperadas
- Tipo de carga a proteger (sensibilidad y criticidad)
- Capacidad de almacenamiento energético requerida
- Tiempo de respuesta (idealmente  $< \frac{1}{4}$  de ciclo)
- Costo de instalación y mantenimiento

Según diversos estudios, los DVR son dispositivos más económicos que alternativas como los sistemas UPS, con un costo estimado de 300 USD/kVA frente a 500 USD/kVA, y menores costos de mantenimiento (5% frente a 15%).

## Guía de selección de Dynamic Voltage Restorer (DVR)

### 1. Recopilación de Datos del Sitio

El primer paso para seleccionar adecuadamente un DVR es caracterizar el entorno eléctrico de la instalación:

- Tensión y frecuencia nominal: por ejemplo, 380 V/400 V a 50 Hz o 200–220 V a 60 Hz.
- Carga crítica: expresada en kVA.
- Perfil de perturbaciones: analizar profundidad y duración de las caídas de tensión (sags).
- Requisitos de continuidad eléctrica: según procesos sensibles o cargas críticas.

### 2. Consulta de Documentación Técnica

Es imprescindible contar con los manuales técnicos del fabricante para garantizar una correcta selección e implementación. En este caso, se hace referencia a Schneider Electric, PowerLogic DVR.

- Installation Manual (NNZ6555100-01): contiene especificaciones de instalación, dimensiones, esquemas de conexionado, requisitos ambientales y de seguridad.
- Operation Manual (NNZ6555700-01): describe la configuración, puesta en marcha, control, mantenimiento y monitoreo del equipo.

### 3. Determinación de la Capacidad y Configuración del DVR

Schneider Electric ofrece la línea PowerLogic DVR con capacidades desde 150 hasta 900 kVA. Las especificaciones típicas son:

Capacidad (kVA)	Corrección continua	Corrección de sags	Configuración del sistema
150–900	± 20–30 %	Hasta –60 % (hasta –70 % sin bypass)	Unidades modulares (master/slave)

Por ejemplo, si la instalación opera a 400 V y presenta sags de hasta –40 %, una solución adecuada podría ser un módulo de 300 kVA como unidad master. Si se requiere más potencia, se puede combinar con unidades slave.

### 4. Verificación de Condiciones de Instalación

Con base en el manual de instalación:

- Instalación física: correcta base de montaje, conexión eléctrica, comunicación, bypass, y puesta a tierra.

- Condiciones ambientales: verificar temperatura ambiente, ventilación y espacio libre alrededor del equipo.
- Gabinete de bypass manual: seleccionar según la capacidad instalada (630 A, 1250 A, 2000 A o 3200 A).

## **5. Configuración y Puesta en Marcha**

La configuración inicial debe realizarse según el Operation Manual, incluyendo:

- Definición de límites de compensación de tensión.
- Configuración de comunicaciones (Modbus, SNMP).
- Parametrización de curvas de compensación y respuesta.

## **6. Integración al Sistema Eléctrico**

- Monitoreo: Integrar el DVR al sistema SCADA o plataforma de monitoreo existente.
- Bypass manual: permite el mantenimiento sin interrupción de la carga crítica.
- Pruebas funcionales: realizar pruebas bajo condiciones reales de carga para validar la respuesta ante sags.

## **7. Mantenimiento y Optimización**

- Frecuencia de mantenimiento: ajustada a la criticidad del sitio y frecuencia de eventos.
- Supervisión: registro de eventos, curvas de compensación, alarmas y horas de operación.
- Reajustes: modificar parámetros si se detectan cambios en la carga o en el perfil de perturbaciones.

## **CONCLUSIÓN**

El Dynamic Voltage Restorer (DVR) se posiciona como una solución eficaz, flexible y económicamente viable para mitigar perturbaciones de tensión en sistemas eléctricos modernos. Su capacidad de respuesta rápida, variedad de estrategias de compensación y adaptabilidad a diferentes niveles de exigencia lo convierten en un componente clave dentro del conjunto de dispositivos de calidad de energía. Al considerar criterios técnicos como la profundidad del sag, la sensibilidad de la carga y la configuración del sistema, el DVR puede seleccionarse de forma óptima para garantizar una operación confiable y continua en entornos críticos.

## REFERENCIAS

- [1] A. Pereira, E. Neto, G. Almeida, J. R. Martins and D. A. Fernandes, "DVRs Analysis with Different Topologies and Control Methods," 2024 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Phoenix, AZ, USA, 2024, pp. 4751-4758, doi: 10.1109/ECCE55643.2024.10860779.
- [2] J. G. Nielsen and F. Blaabjerg, "A detailed comparison of system topologies for dynamic voltage restorers," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, no. 5, pp. 1272-1280, Sept.-Oct. 2005, doi: 10.1109/TIA.2005.855045.
- [3] J. G. Nielsen, M. Newman, H. Nielsen and F. Blaabjerg, "Control and testing of a dynamic voltage restorer (DVR) at medium voltage level," IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03., Acapulco, Mexico, 2003, pp. 1248-1253 vol.3, doi: 10.1109/PESC.2003.1216626.
- [4] A. Moghassemi and S. Padmanaban, "Dynamic Voltage Restorer (DVR): A Comprehensive Review of Topologies, Power Converters, Control Methods, and Modified Configurations," Energies, vol. 13, no. 16, p. 4152, Aug. 2020, doi: 10.3390/en13164152
- [5] K. V. H. Cheng, et al., "Design and simulation of dynamic voltage restorer (DVR) for power quality improvement," J. Phys.: Conf. Ser., vol. 2222, no. 1, p. 012003, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2222/1/012003.
- [6] K. Nasiriani and M. Pasandi, "Dynamic Voltage Restorer (DVR) For Protecting Hybrid Grids," arXiv preprint arXiv:2006.16452, 2020[cite: 1, 2].
- [7] A. M. Eltamaly, Y. Sayed, A.-H. M. El-Sayed, and A. N. A. Elghaffar, "Voltage Sag Compensation Strategy Using Dynamic Voltage Restorer for Enhance the Power System Quality,"
- [8] M. Farhadi-Kangarlu, E. Babaei, F. Blaabjerg, "A comprehensive review of dynamic voltage restorers". Elsevier. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 92, 2017.
- [9] A. K. Sadigh and K. M. Smedley, "Review of voltage compensation methods in dynamic voltage restorer (DVR)," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA, 2012, pp. 1-8, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345153.
- [10] Schneider Electric, PowerLogic Installation Manual, NNZ6555100-01, 1st ed., Schneider Electric, [2022].
- [11] Schneider Electric, *PowerLogic Operation Manual*, NNZ6555700-01, 1st ed., Schneider Electric, [2022].