

Evaluación y diagnóstico de los criterios técnicos aplicables a Centrales Eléctricas para el aseguramiento del Código de Red

Ing. Rodolfo Alvarado Castañeda
rodolfo.alvarado@cfe.gob.mx

Ing. Luis Manuel Ruiz Cabrera
luis.ruiz@cfe.gob.mx

Comisión Federal de Electricidad
Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC)
Oficina de Geoelectrica
Av. San Rafael Santa Cecilia No. 211-B, Col. San Rafael,
Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 54120

Abstract

A partir de la implementación de la Ley de la Industria Eléctrica se desarrolló el Mercado Eléctrico Mayorista y la Generación Distribuida con la finalidad de nutrir el Mix energético de México y disminuir el costo neto de energía eléctrica. Para cumplir con los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional se ha implementado el Código de Red. Las Centrales Eléctricas deben de cumplir con criterios técnicos en función del sitio de instalación, la capacidad y su naturaleza de operación de cada generador. La frecuencia y la tensión son los parámetros eléctricos fundamentales para regular la operación de una Central Eléctrica Fotovoltaica, ya que, un generador fotovoltaico es una fuente de corriente y la cantidad de electrones que libera depende de la luz solar que incide en la superficie del Arreglo; es necesario trabajar con estos parámetros para que una Central Eléctrica fotovoltaica opere dentro de los criterios establecidos en el Código de Red y a su vez pueda ser programada su participación dentro del Mercado Eléctrico Mayorista.

Introducción

El incremento del consumo eléctrico y la resiliencia como especie ante los efectos del cambio climático han propiciado la búsqueda de alternativas para la generación de electricidad. Se han retomado el aprovechamiento de fuentes de energía que su naturaleza permite un menor impacto al medio ambiente tales como el sol, el viento, el mar y la materia orgánica.

En los últimos años en México ha crecido la implementación de la tecnología fotovoltaica, comenzando dentro del nicho residencial, continuando a centros de carga de comercios, pequeñas y medianas industrias y en la integración de Centrales Eléctricas.

La Reforma Energética y la publicación de la Ley de la Industria Eléctrica crearon las condiciones para la formación del Mercado Eléctrico Mayorista y la Generación Distribuida con la finalidad de

nutrir el mix energético, disminuir el costo neto de la energía eléctrica y fomentar la participación de la iniciativa privada en la generación y comercialización. Para asegurar el sustento técnico del Mercado Eléctrico se desarrollaron criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional. Para asegurar el cumplimiento de los criterios se desprende del artículo 12 de la Ley de la Industria Eléctrica, fracción XXXVII el **Código de Red**.

Los Integrantes de la Industria Eléctrica que dejen de observar, de manera grave a juicio de la CRE, las disposiciones establecidas en el Código de Red se sujetarán a las sanciones establecidas en el artículo 165, fracción I, inciso k), y fracción II, inciso c) de la LIE:

- I. Con multa del dos al diez por ciento de los ingresos brutos percibidos en el año anterior por:
 - k) Dejar de observar, de manera grave a juicio de la CRE, las disposiciones en materia de la Calidad, Confiabilidad, Continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional;
- II. Con multa de cincuenta mil a doscientos mil salarios mínimos por:
 - c) Incumplir las disposiciones en materia de la Calidad, Confiabilidad, Continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional

Además de las sanciones señaladas, el incumplimiento del Código de Red por parte de las Centrales Eléctricas limita su participación en el Mercado, ya que el CENACE, como operador del Sistema Eléctrico Nacional, restringirá el despacho de energía de cualquier Central que ponga en riesgo la operación e integridad del Sistema Eléctrico Nacional, esto impacta de manera significativa al modelo financiero desarrollado y se pierde la confianza en la inversión.

Para que las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas cumplan con el Código de Red es necesario conocer su capacidad, sitio de instalación y sus características de operación.

Clasificación de las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas

La Central Eléctrica Fotovoltaica debe cumplir los requerimientos según su capacidad instalada de conformidad con las categorías mostradas en la siguiente tabla:

Áreas síncronas	Central Eléctrica tipo A	Central Eléctrica tipo B	Central Eléctrica tipo C	Central Eléctrica tipo D
Sistema Interconectado Nacional	$P < 500$ kW	$500 \text{ kW} \leq P < 10$ MW	$10 \text{ MW} \leq P < 30$ MW	$P \geq 30$ MW
Sistema Baja California	$P < 500$ kW	$500 \text{ kW} \leq P < 5$ MW	$5 \text{ MW} \leq P < 20$ MW	$P \geq 20$ MW
Sistema Baja California Sur	$P < 500$ kW	$500 \text{ kW} \leq P < 3$ MW	$3 \text{ MW} \leq P < 10$ MW	$P \geq 10$ MW
Sistema Interconectado Mulegé	$P < 500$ kW	$500 \text{ kW} \leq P < 1$ MW	$1 \text{ MW} \leq P < 3$ MW	$P \geq 3$ MW

Además de la clasificación, para la operación de una Central Eléctrica Fotovoltaica es necesario tener control de la frecuencia y la tensión eléctrica, ya que, su principio de funcionamiento es como fuente de corriente y la potencia que entregue depende de la corriente y esta a su vez de la energía solar incidente sobre la superficie de las celdas del Arreglo, este aspecto no puede ser controlado, al menos que se tenga un sistema de almacenamiento, aspecto que incrementaría de manera significativa el costo de la Central Eléctrica Fotovoltaica.

Requerimientos de interconexión ante variaciones de frecuencia

Centrales eléctricas tipo A

a. Rangos de frecuencia

Durante su vida útil la Central debe mantenerse interconectada a la red y operando dentro de los rangos de frecuencia y tiempo definidos a continuación:

Área síncrona	Rango de frecuencias	Tiempo mínimo de operación
Sistema Interconectado Nacional y Baja California	$61.8 \text{ Hz} = f < 62.4 \text{ Hz}$	15 minutos
	$61.2 \text{ Hz} = f < 61.8 \text{ Hz}$	30 minutos
	$58.8 \text{ Hz} = f < 61.2 \text{ Hz}$	ilimitado
	$58.2 \text{ Hz} = f < 58.8 \text{ Hz}$	30 minutos
	$57.0 \text{ Hz} = f < 58.2 \text{ Hz}$	15 minutos
Sistema de Baja California Sur y Pequeño Sistema de Mulegé	$61.8 \text{ Hz} = f < 63.0 \text{ Hz}$	15 minutos
	$61.2 \text{ Hz} = f < 61.8 \text{ Hz}$	30 minutos
	$58.8 \text{ Hz} = f < 61.2 \text{ Hz}$	ilimitado
	$58.2 \text{ Hz} = f < 58.8 \text{ Hz}$	30 minutos
	$57.0 \text{ Hz} = f < 58.2 \text{ Hz}$	15 minutos

Las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas emplean inversores, equipo de electrónica de potencia empleado para convertir la energía eléctrica en Corriente Continua a Corriente Alterna. Los inversores para interconexión pueden trabajar, típicamente, dentro

de un rango de 55 a 65 Hz, sin embargo, deben ser programados para operar en los rangos mencionados.

Los inversores para interconexión a la Red no son máquinas síncronas, por lo que por si mismos no están programados para generar su frecuencia de operación, toman la referencia de la red. En el caso de presentarse un valor de frecuencia fuera del rango definido en los parámetros nominales de los inversores, su algoritmo de operación les ordenará protegerse y dejarán de inyectar de manera abrupta. Esta condición nominal de operación de los inversores deberá de modificarse y ajustarse a los rangos de operación señalados.

En el caso de las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas tipo A, por la potencia instalada, estarían dentro de la Generación Distribuida (generadores exentos), por lo que no requerían realizar un trámite de interconexión ante la CRE, pero si con el Suministrador Básico (CFE Básicos) cuyo protocolo para la interconexión exige que el inversor esté certificado bajo los estándares *UL 1741 Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources* y *IEEE 1547-2018 Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*, con la finalidad de asegurar la seguridad de: la infraestructura eléctrica, cualquier persona que entre en contacto con la instalación; además con la exigencia de estos estándares se incrementa la probabilidad del cumplimiento del Código de Red, considerando que los criterios definidos han sido definidos en redes eléctricas de Estados Unidos de América con parámetros de operación similares a las redes en México.

b. Respuesta ante rapidez de cambio de frecuencia:

Las Centrales Eléctricas deberán mantenerse interconectadas a la red y operando ante razones de cambio de la frecuencia respecto al tiempo. Las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas, al ser asíncronas deben tener una rapidez de 2.0 Hz/s. Esto se cumple siempre y cuando el cambio suscitado no sobrepase los límites de frecuencia de operación del inversor.

Es posible revisar los parámetros de operación del inversor para analizar si es económica y técnicamente factible operar con razones de cambio de la frecuencia respecto al tiempo más amplias, éstas no deberán limitarse y podrán ser solicitadas por el CENACE para preservar o restablecer la seguridad del sistema.

c. Respuesta ante alta frecuencia:

La Central Eléctrica debe activar su control sobre la potencia activa en respuesta a una condición de alta frecuencia como se muestra en la Figura 1. Este control debe activarse a partir de 60.2 Hz, con una característica de regulación seleccionable entre 3 % y 8 %. El ajuste de la característica de regulación lo definirá el CENACE de acuerdo con la necesidad del sistema. La respuesta de potencia activa debe ser activada en menos de 2 segundos, en caso de no ser técnicamente factible este tiempo debe ser razonablemente justificado. La Central Eléctrica debe continuar en operación al nivel mínimo de regulación cuando alcancen este límite o a un nivel inferior si es posible; y

