

# **Foro 9 del del Parlamento Abierto de la Reforma Energética**

## **Planeación del Sistema Eléctrico y su impacto en la confiabilidad y seguridad del SEN**

**Elaborado por: Ing. Nahúm Román Vargas**

**31 de enero de 2022**

Página 1 de 25

## Contenido

1. Antecedentes.....	3
2. Impactos de la Reforma de 2013 .....	5
2.1 Capacidad Instalada de Generación.....	5
2.2 Interconexión de Centrales Renovables Intermitentes a la Red Nacional de Transmisión.....	12
3. Propuestas en torno a la Iniciativa de Reforma .....	14
4. Conclusiones.....	15
5. Anexos .....	17
5.1 Que es la Confiabilidad y la Seguridad de un Sistema Eléctrico .....	17
5.3 Que es la Resiliencia de un Sistema Eléctrico.....	18
5.3 Que son las Contingencias .....	18
5.4 La importancia de mantener la estabilidad del Sistema Eléctrico Nacional .....	19
5.5 Que son los esquemas de alivio en el Sistema Eléctrico Nacional.....	20
5.6 Que es la falta de respuesta inercial en el Sistema Eléctrico Nacional.....	21
5.7 La alta relevancia del despacho de generadores convencionales por Confiabilidad del Sistema.....	22
5.8 Que es el deterioro de la robustez del Sistema Eléctrico Nacional .....	23
5.9 Que se entiende por Balcanización de la Red Nacional de Transmisión .....	24

## 1. Antecedentes

Previo a la Reforma energética de 2013 la Planificación del Sistema Eléctrico Nacional que se realizaba de manera centralizada por la CFE. Ésta se realizaba en forma integral a un horizonte de 15 años, desarrollando coordinadamente la expansión de la generación y la expansión de las redes de transmisión y de distribución.

La Planificación comprendía la ubicación correcta de nuevas Centrales Eléctricas considerando implicaciones técnicas, costo-beneficio, ambientales y sociales a nivel nacional, bajo los siguientes criterios y consideraciones:

- Perspectivas macroeconómicas
- Incremento previsto de la demanda (en potencia y en energía)
- Disponibilidad y precios estimados de combustibles
- Restricciones técnicas y operativas
- Margen de Reserva necesario y suficiente
- Impactos ambientales y sociales
- Solución de mínimo costo social

Las características que distinguieron el crecimiento de la generación fueron los siguientes:

- Selección de tecnologías de generación
- Dimensionamiento (capacidad de las Centrales Eléctricas)
- Red asociada (reforzamientos necesarios a la red eléctrica)
- Cantidad (energía a producir en un periodo de tiempo)
- Espacio (ubicación e interconexión a la red eléctrica)

El aspecto fundamental de la Planificación integrada y coordinada del Sistema Eléctrico Nacional que realizaba la CFE consistía en satisfacer las necesidades futuras de electricidad en el país, previendo el incremento de carga (tanto en demanda como en energía), considerando un margen de reserva necesario y suficiente para el sistema, basado en criterios y las mejores prácticas internacionales.

Hasta 2015, el ejercicio anual de Planificación del Sistema Eléctrico Nacional utilizaba el criterio de expansión de la generación con un margen de reserva del 15% en la capacidad total de generación instalada en el Sistema necesaria que permitiera un suministro de energía confiable; esto es, que sobre la demanda máxima registrada en el país, el Sistema debería tener al menos 15% más de capacidad instalada para atender la demanda máxima. De esta manera, el margen de reserva contribuye a garantizar que habrá suficientes recursos de generación disponibles para satisfacer la demanda y al mismo tiempo, considerar que algunas Unidades de Centrales Eléctricas pudieran no estar disponibles debido a salidas tanto previstas como forzadas.

Por otro lado, la red de transmisión y distribución se expandió bajo los siguientes criterios y consideraciones:

- Transporte de grandes bloques de generación a los principales centros de carga del país
- Previsión de las magnitudes de demanda intra-anales
- Gran extensión geográfica del país y diversidad en los centros de carga
- Ubicación de las Centrales Eléctricas
- Impactos ambientales y sociales
- Solución de mínimo costo social

Las características que distinguieron el crecimiento de la red eléctrica fueron los siguientes:

- La distinción de la función de cada uno de los componentes de la red eléctrica
- Unir grandes centros de generación y consumo
- Incremento de la confiabilidad y seguridad
- Desarrollo de proyectos de reforzamiento requeridos
- Reducción de costos totales de producción de energía
- Priorización a las obras impostergables

Como resultado de este proceso integral de Planificación del Sistema Eléctrico Nacional se desarrolló a lo largo de los años la Red Nacional de Transmisión. Su expansión se ha realizado considerando la magnitud y dispersión geográfica de la demanda así como de la ubicación de las Centrales Eléctricas.

El Sistema Eléctrico Nacional en la actualidad transporta electricidad en 7 niveles de tensión de alto voltaje desde las Centrales Eléctricas hasta las Redes Generales de Distribución y a los usuarios en alta tensión en los diferentes puntos de entrega. Está conformado por líneas de transmisión de alta tensión que se extienden por 30 estados del país; tiene un enlace síncrono con el Sistema WECC y tres enlaces asíncronos con el Sistema Eléctrico de ERCOT, ambos de Estados Unidos; un enlace síncrono con el Sistema Eléctrico Regional de Centroamérica y otro más con el Sistema Eléctrico de Belice.

## **2. Impactos de la Reforma de 2013**

### **2.1 Capacidad Instalada de Generación**

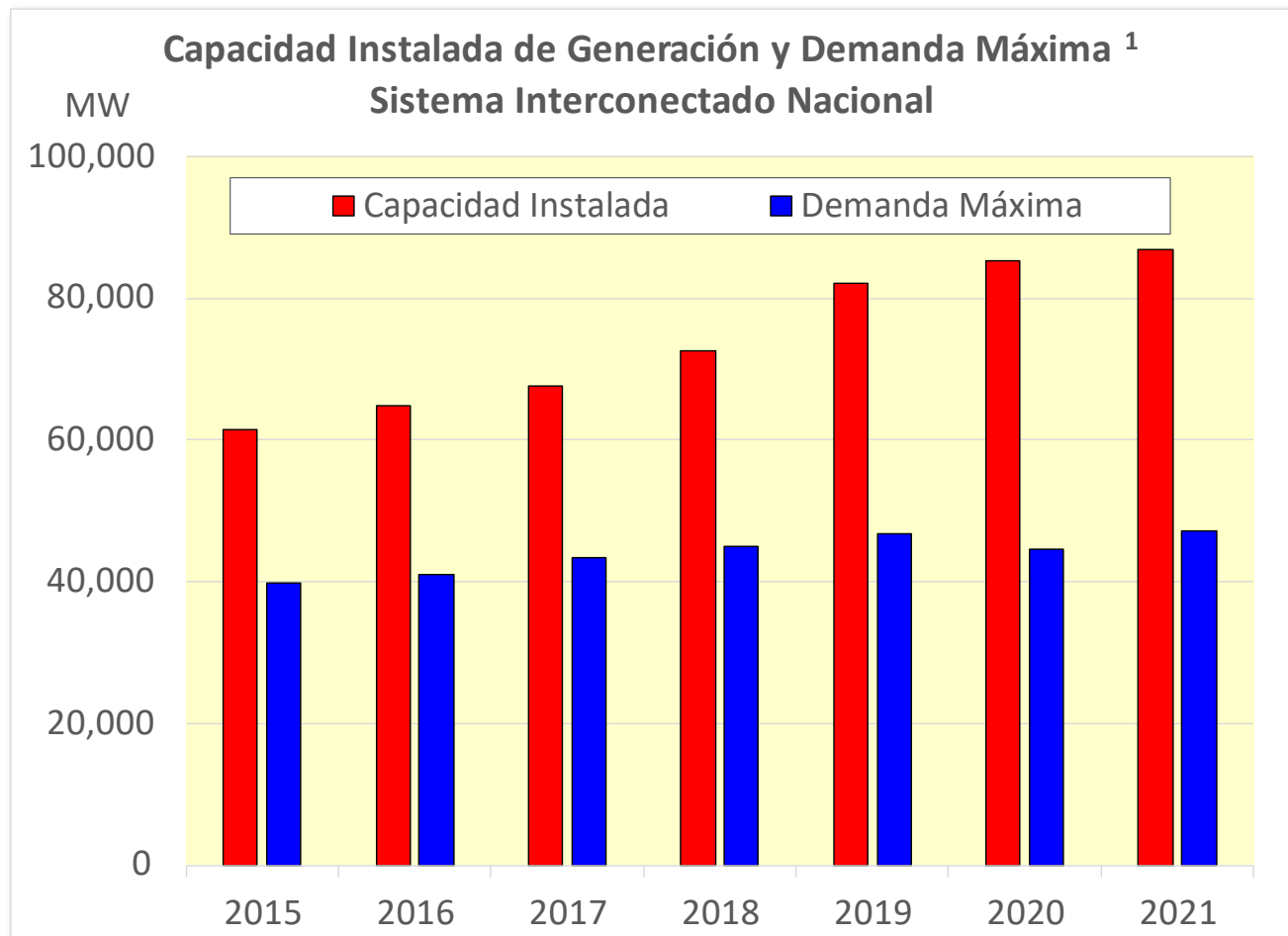
La Reforma de 2013 eliminó el proceso de Planificación del Sistema Eléctrico Nacional dejando libre la ubicación de las Centrales; la CRE otorgó permisos de generación de manera ilimitada y sin tomar en cuenta las características de la red eléctrica ni las afectaciones que pudieran causar al Sistema.

Asimismo, la Reforma de 2013 originó un proceso de Planificación de la Red Nacional de Transmisión indicativo y desacoplado al ritmo que creció la capacidad de generación; adicionalmente. Su efecto es que a la fecha existen regiones en el SIN con exceso de generación y con fuertes y crecientes restricciones para evacuarla, cuando menos estacionalmente.

El Gráfico 1 muestra la evolución del crecimiento desbordado de la generación en el Sistema Interconectado Nacional<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Información de la Dirección de Administración del Mercado. CENACE



**GRÁFICO 1. EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL**

Para el año 2024 se estima una demanda máxima en el Sistema Interconectado Nacional de 50,237 MW<sup>2</sup>. Como se ilustra en la Tabla 1, con los proyectos de nuevas Centrales Eléctricas en proceso de construcción, la capacidad instalada en este Sistema incrementará a 92,514 MW (casi un 84.16% de margen de reserva); se tendrá una sobre oferta de generación para atender la demanda de electricidad en el país

Lo anterior sin contar solicitudes de permisos que pendientes de aprobar por parte de la CRE por un monto de 26,036 MW<sup>3</sup> para el SIN, con los cuales su capacidad instalada será de

<sup>2</sup> <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/PlaneacionSEN.aspx>

<sup>3</sup> <https://datos.gob.mx/busca/dataset/generacion-de-energia-electrica-por-insumo-energetico-por-tecnologia-y-por-permisionario/resource/93686f4f-570f-4cf5-b88b-d832b7ce1836>

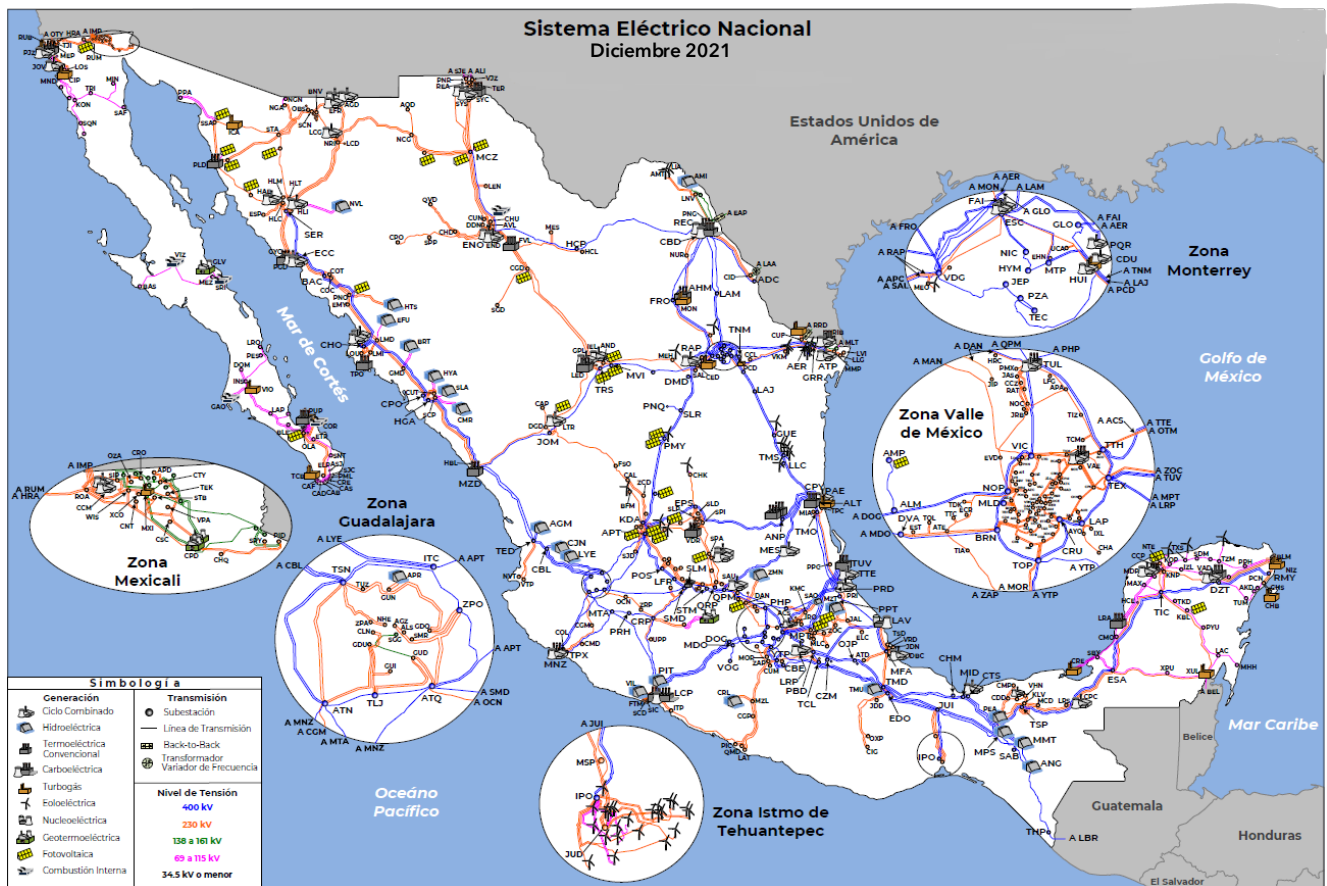
118,550 MW con un margen de reserva sería del orden del 136%; lo anterior resulta caótico e ineficiente en cualquier sistema eléctrico.

**TABLA 1. IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL**

Capacidad de Generación del Sistema Interconectado Nacional	Potencia [MW]
Instalada a inicios de 2016 <sup>1</sup>	61,468
Instalada a inicios de 2022 <sup>1</sup>	86,882
En proceso de construcción <sup>2</sup>	5,632
Permisos pendientes de otorgar <sup>2</sup>	26,036
Total a finales de 2024	118,550

En cuanto al crecimiento de la infraestructura de la Red Nacional de Transmisión (ver la Figura 1), resalta lo siguiente:

- El sistema eléctrico ha incrementado su vulnerabilidad por la inserción caótica de Centrales Renovables Intermitentes.
- Los pocos elementos que se han añadido a la Red Troncal de 2016 a 2021 son refuerzos locales.
- La ley actual establece un proceso desarticulado e ineficaz de Planificación de expansión de la red eléctrica.



**FIGURA 1. RED NACIONAL DE TRANSMISIÓN<sup>4</sup>**

La Reforma de 2013 ocasionó entre otros impactos adversos, tres desadaptaciones en el SIN entre la capacidad instalada de generación, la red eléctrica y la demanda, descritas como sigue:

La **primera desadaptación** consiste en que la generación instalada en los últimos 6 años ha crecido de manera desproporcionada con respecto a la demanda máxima del Sistema; sin planificación ni criterios de seguridad y confiabilidad, como ya se describió en párrafos anteriores y se muestra en el Gráfico 1.

La **segunda desadaptación** es el mayor monto de nueva capacidad de generación que se ha instalado en el Norte del SIN, que es del orden de 39,897 MW<sup>5</sup> (ver el Gráfico 2 y la Tabla 2) y que en conjunto con la red existente resulta en una seria inadecuación para el Sistema, al

<sup>4</sup> Diagramas geográficos obtenidos de <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/PlaneacionSEN.aspx>

<sup>5</sup> Información de la Dirección de Administración del Mercado. CENACE



originar mayores transferencias de energía entre el norte y el sur del SIN, que se magnifican cuando debido al comportamiento estacional de la demanda del norte, cuando esta se reduce por debajo de 15,000 MW en los periodos de enero a abril y octubre a diciembre<sup>6</sup> (ver el Gráfico 3), congestionando aún más los corredores del norte al sur del SIN. Las regiones norte y sur del SIN se muestran en la Figura 2.

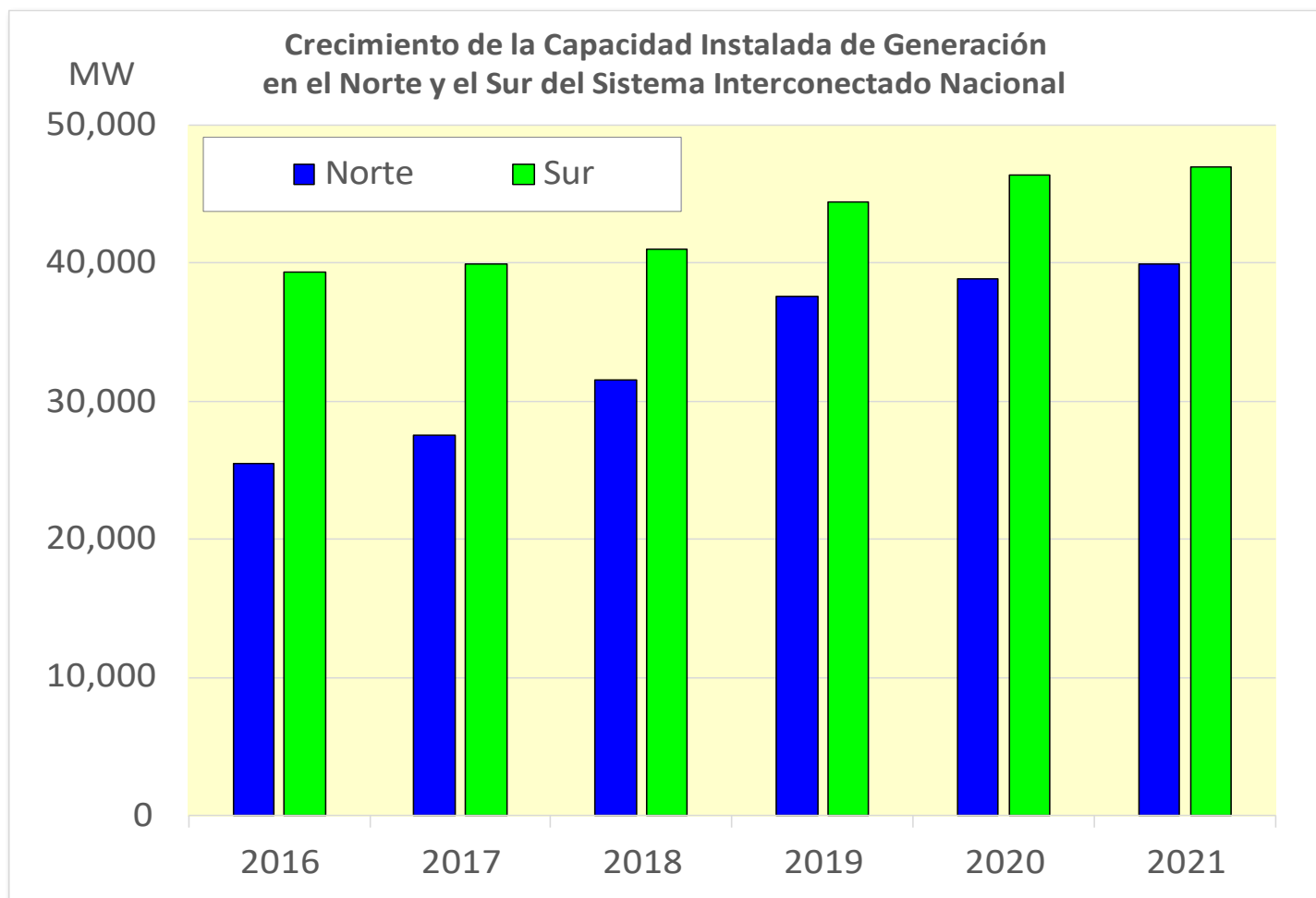


**FIGURA 2. REGIONES NORTE (COLOR AZUL) Y SUR (COLOR VERDE) DEL SIN**

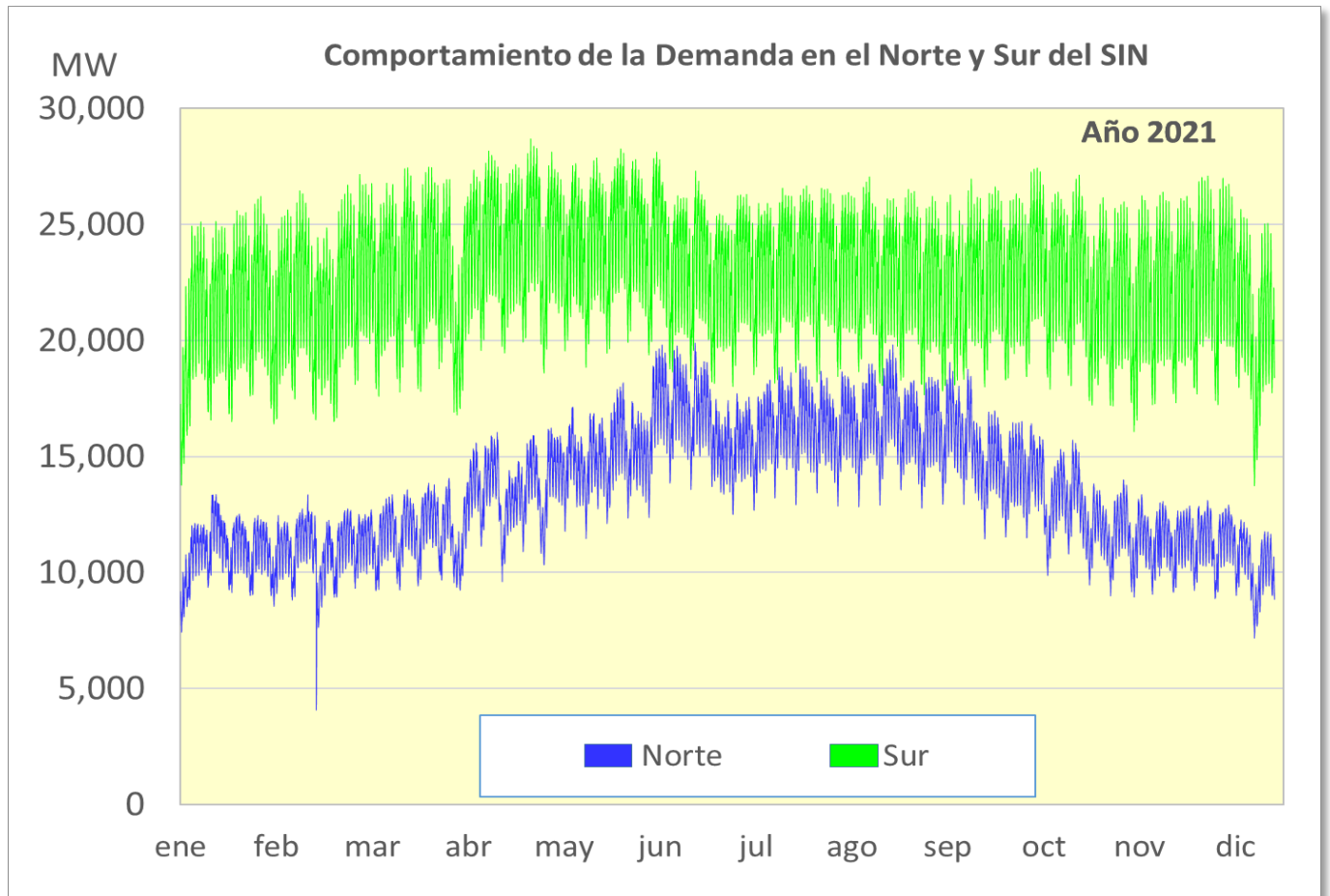
<sup>6</sup> Información de la Dirección de Operación y Planeación del Sistema. CENACE

**TABLA 2. GENERACIÓN INSTALADA (MW) EN EL NORTE DEL SIN  
AL 31 DE DICIEMBRE DE 2021**

REGION OPERATIVA	CARBÓN	CICLO COMBINADO	COMBUSTIÓN INTERNA	EÓLICA	FOTOVOLTAICA	HIDRÁULICA	TERMOELÉCTRICA	TURBOGAS	TOTAL
NOROESTE	0	5,066	35	4	1,416	942	1,568	72	9,103
NORTE	0	4,232	133	0	1,911	37	967	187	7,468
NORESTE	2,600	13,632	91	3,635	31	118	1,998	1,223	23,327
<b>TOTAL</b>	<b>2,600</b>	<b>22,930</b>	<b>259</b>	<b>3,639</b>	<b>3,357</b>	<b>1,097</b>	<b>4,533</b>	<b>1,482</b>	<b>39,897</b>
<b>% DEL NORTE DEL SIN</b>	<b>6.5%</b>	<b>57.5%</b>	<b>0.7%</b>	<b>9.1%</b>	<b>8.4%</b>	<b>2.7%</b>	<b>11.4%</b>	<b>3.7%</b>	<b>100.0%</b>



**GRÁFICO 2. EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN EN EL NORTE Y EL SUR DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL**



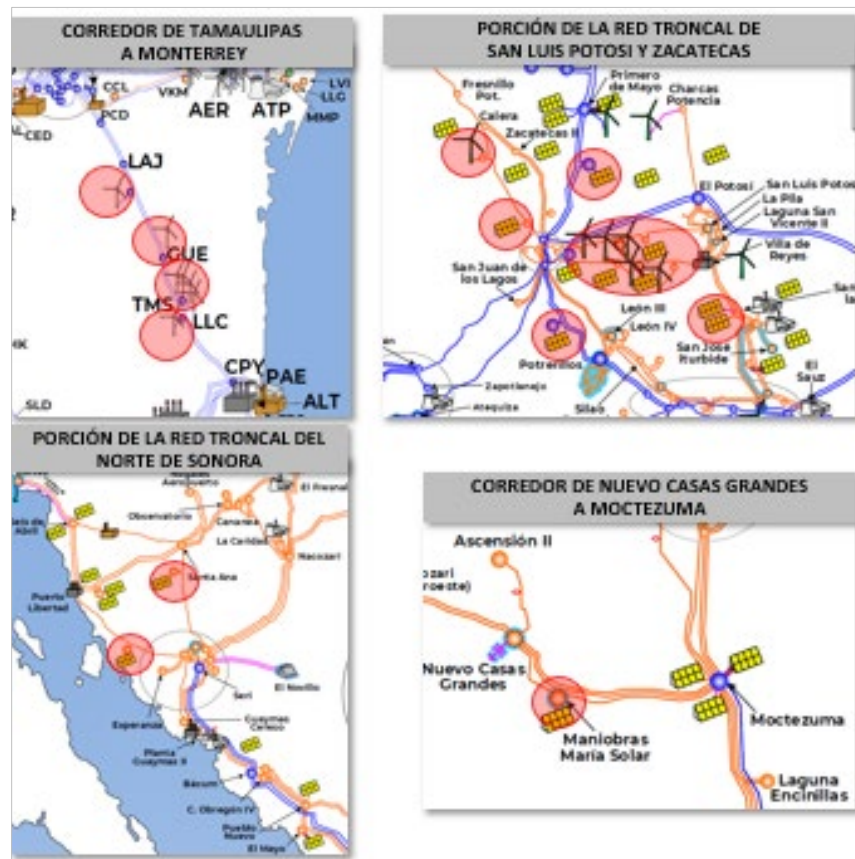
**GRÁFICO 3. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA EN EL NORTE Y EL SUR DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL DURANTE EL AÑO 2021**

La **tercera desadaptación** consiste en que el 18% de la generación instalada en las regiones operativas Noroeste, Norte y Noreste es renovable intermitente (6,996 MW); al ser un recurso con bajo factor de planta y tener un comportamiento fluctuante y en combinación con el comportamiento de la demanda en el norte del país, ocasiona fuertes congestiones en los corredores de transmisión entre el norte y el sur del SIN solamente en algunas horas del día.

En resumen, el crecimiento excesivo de la generación instalada, la fluctuación de la renovable intermitente y su localización en el Sistema, aunado a la falta de refuerzos a la red troncal principal ha provocado una creciente vulnerabilidad del Sistema, por lo que de no modificarse el esquema de Planificación actual, se incrementarán los riesgos de apagones masivos en el futuro cercano.

## 2.2 Interconexión de Centrales Renovables Intermitentes a la Red Nacional de Transmisión

En relación con la interconexión de nuevas Centrales Eléctricas de generación renovable intermitente, la Reforma de 2013 ha ocasionado la denominada “balcanización” de elementos críticos de la Red Nacional de Transmisión que han reducido la Confiabilidad y Seguridad de la Red Nacional de Transmisión, al permitirse la incorporación de Centrales Renovables Intermitentes con el menor costo de las obras para su inserción; la apropiación de la capacidad de principales líneas de transmisión de la Red Nacional de Transmisión al permitir que en éstas se hayan insertado 153 Centrales Renovables Intermitentes<sup>7</sup> (ver como referencia la Figura 3<sup>8</sup>).

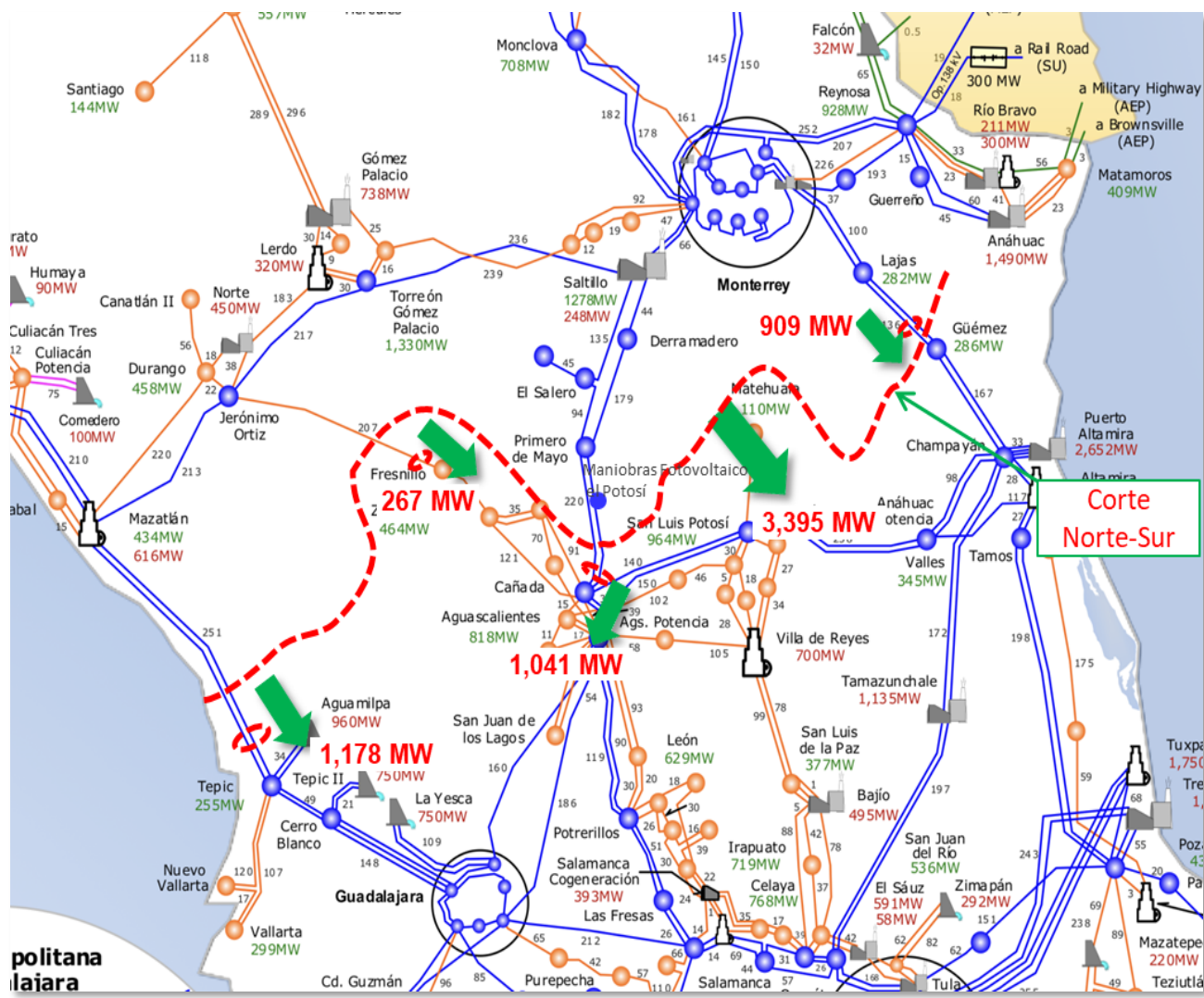


**FIGURA 3. DIAGRAMAS GEOGRÁFICOS CON EJEMPLOS DE CENTRALES RENOVABLES INTERMITENTES QUE SE HAN INTERCONECTADO EN CORREDORES PRINCIPALES DE LA RED NACIONAL DE TRANSMISIÓN**

<sup>7</sup> Corte a mediados del año 2021

<sup>8</sup> Diagramas geográficos e información de Centrales obtenida de <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/PlaneacionSEN.aspx>

La inserción desordenada de nuevas Centrales Renovables Intermitentes ha originado mayores y nuevas congestiones en corredores de la Red Nacional de Transmisión que degradan su Confiabilidad y Seguridad (ver la Figura 4), lo cual deriva en una mayor vulnerabilidad e incremento del riesgo de grandes apagones debido a una creciente dependencia de esquemas de alivio, así como un creciente déficit de recursos para el control de la frecuencia en el Sistema.



**FIGURA 4. CONDICIÓN DE ALTA TRANSFERENCIA ENTRE EL NORTE Y EL SUR DEL SIN PREVIA AL DÍA DEL EVENTO DEL 28 DE DICIEMBRE DE 2020**

### **3. Propuestas en torno a la Iniciativa de Reforma**

- 1. Que el Estado ejerza la Planificación del SEN y hacerla de manera integral y coordinada**
  - La concesión de permisos de Generación debe ser parte de la Planificación del SEN
  - Los proyectos de Generación y de Transmisión deben realizarse de manera coordinada bajo las premisas de espacio, tamaño y tiempo
  - La incorporación de Fuentes de Energía Renovable debe formar parte de la Política Energética
  
- 2. No permitir en lo sucesivo futuras Centrales que debiliten la red y restrinjan las capacidades de transferencia en los corredores principales de la Red Nacional de Transmisión.**
  - Los interesados deberán incorporar y costear los refuerzos necesarios de red eléctrica.
  - Deberán inyectar su energía a la red eléctrica en los nodos principales de la Red Nacional de Transmisión.
  - La selección de estos puntos de entrega debe ser resultado de estudios.
  
- 3. En el caso de que haya varios interesados en explotar un recurso energético en una región, se deberán organizar para compartir los costos de la red necesaria para insertar los diversos proyectos a la red principal en los nodos apropiados (este esquema se conoció como “Temporada Abierta”).**
  
- 4. Garantizar por parte del operador del Sistema que los equipos eléctricos de nuevas Centrales cumplan con las especificaciones que les fueron requeridas, así como vigilar que dichas Centrales aporten los equipos necesarios que permitan cumplir con las obligaciones establecidas en el Código de Red relativas al control de voltaje y frecuencia del Sistema.**

## 4. Conclusiones

El creciente requerimiento de energía eléctrica en la economía de México y el resto del mundo es una tendencia inevitable. La propuesta que ahora se debate es identificar la mejor respuesta a esa problemática.

En un sistema eléctrico maduro y funcionando con buenos estándares, como es el caso del Sistema Eléctrico Nacional, en principio no hubo mayor problema en interconectar centrales eléctricas privadas, particularmente las del tipo renovable intermitente. La red eléctrica era lo suficientemente robusta y resiliente para soportar la primera oleada de Centrales Renovables Intermitentes.

Sin embargo, con la Reforma Energética de 2013 vino una segunda oleada, esta vez masiva y la red eléctrica llegó al límite. La Reforma Energética de 2013 dio un gran impulso a las energías eólica y solar, pero no anticipó ni preparó la red eléctrica para asimilar tanta generación fluctuante y adversa al sistema eléctrico.

La primera señal de alarma vino con el inicio de pandemia de Covid-19 que estresó aún más el sistema eléctrico, porque se contrajo la demanda y debido al esquema actual, tuvieron que parar centrales convencionales que aportan estabilidad y confiabilidad a la red. En esas condiciones y para evitar posibles apagones, hacia finales de abril de 2020 el CENACE emitió un acuerdo para suspender temporalmente las pruebas preoperativas de 17 centrales eólicas y solares ubicadas en lugares críticos del Sistema. Esa decisión fue impugnada en tribunales, donde jueces sin tener la menor idea de cómo funcionan los sistemas eléctricos de potencia ni las características de la red eléctrica del país, concedieron amparos a destajo.

Dos semanas después, la Secretaría de Energía emitió un acuerdo que condicionaba la interconexión y el uso de la red a no afectar la confiabilidad, señalando que lo primordial era la continuidad del suministro eléctrico en todo el país y no el blindaje de negocios particulares. Esa política de confiabilidad también fue llevada a los tribunales con los mismos jueces y resultados. Connotados especialistas independientes señalaron en su momento que las decisiones tomadas por el gobierno federal fueron correctas, desde el punto de vista técnico. El principio de precaución obliga a tomar medidas para proteger a la Red Nacional de Transmisión, que es sin duda la columna vertebral del Sistema Eléctrico Nacional.

En esos momentos había instalados 9,632 MW de generación Eólica y Fotovoltaica en operación comercial. Para inicios de 2022 estas fuentes de generación sumaron una capacidad instalada de 15,448 MW y los problemas operativos se han venido agravando. Prevalece el fenómeno de saturación y balcanización de la red eléctrica, problema que requiere resolverse de fondo para evitar cortes masivos al suministro eléctrico y afectaciones a los usuarios (apagones).

Es necesario y urgente cambiar las reglas de instalación de las centrales privadas y su interconexión a la red eléctrica. México no puede, ni debe darse el lujo de esperar a que lleguen más apagones para justificar ante los Legisladores la urgencia de cambiar las leyes que rigen la industria eléctrica.

La Reforma Energética de 2013 desarticuló el proceso eléctrico al eliminar la Planificación integral y coordinada de la cadena de suministro y dejó que la generación de electricidad creciera en forma desordenada, es decir, sin planificación; la planeación de la red eléctrica es eso: “un plan”. Esas decisiones fueron opuestas al correcto funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional. Se dio la prioridad al mercado, a las transacciones comerciales, a las ganancias, a la rentabilidad y maximización de excedentes económicos, puerta a la especulación, y se le dio importancia secundaria (peligrosamente) a la Confiabilidad, Seguridad y la eficiencia del Sistema. Se dio preferencia a las leyes del comercio y se relegó a las leyes de la física que rigen el comportamiento de las redes eléctricas.

Las leyes que derivaron de la reforma energética, cuyo único y evidente propósito fue beneficiar a las compañías eléctricas privadas, dificultan al extremo el control operativo de la red de transmisión y, tarde o temprano, habrá colapsos de mayores magnitudes y repercusiones económicas para el país. Esas leyes deben cancelarse. El modelo de industria eléctrica tropicalizado en México ha demostrado ser insostenible.

La reforma eléctrica propuesta por el Presidente de la República permitiría resolver los problemas actuales y prepararía al Sistema Eléctrico Nacional para una reducción efectiva y eficiente de los riesgos para la confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico en México.



## 5. Anexos

### 5.1 Que es la Confiabilidad y la Seguridad de un Sistema Eléctrico

La **Confiabilidad**<sup>9</sup> de un Sistema Eléctrico se refiere a su habilidad para mantenerse integrado, suministrando los requerimientos de suministro de energía eléctrica de los usuarios finales, cumpliendo los estándares definidos tanto de calidad como de seguridad operativa y considerando la probabilidad de ocurrencia de contingencias o salida fortuitas de elementos

También se le identifica como la probabilidad de un funcionamiento satisfactorio del Sistema Eléctrico a largo plazo; denota la capacidad de suministrar el servicio eléctrico de manera casi continua, con el menor número de interrupciones durante un periodo de tiempo prolongado.

La **Confiabilidad** tiene una estrecha relación con afectaciones al suministro eléctrico:

- Carga demandada en un horizonte de tiempo
- La cantidad de energía interrumpida
- Duración de las interrupciones
- Frecuencia de las interrupciones
- Número de consumidores atendidos

La **Confiabilidad** de un SEP comprende aspectos tanto de **Seguridad** como de **Adecuabilidad**.

La **Seguridad** es el arte y la ciencia de la operación de los SEP que permite valorar si son capaces de “sobrevivir” ante perturbaciones creíbles.

Un Sistema Eléctrico se considera en operación segura cuando sea capaz de soportar la ocurrencia de la contingencia sencilla más severa sin requerir la acción de esquemas de control suplementarios; comúnmente mediante la evaluación de problemas de estabilidad de voltaje, estabilidad angular y estabilidad de frecuencia

La **Adecuabilidad** es la habilidad de un Sistema Eléctrico en un horizonte de tiempo para suministrar los requerimientos de potencia y energía a los consumidores en régimen permanente bajo condiciones estándar (sin violar límites de diseño de los elementos; frecuencia y voltaje dentro de tolerancias operativas) considerando desconexión de elementos de red o de generación, tanto planeadas como fortuitas.

---

<sup>9</sup> <https://www.nerc.com/pa/Stand/Pages/ReliabilityStandards.aspx>

La **Adecuabilidad** se divide en dos vertientes:

- La **adecuación de la generación** que evalúa la capacidad del Sistema Eléctrico para satisfacer los montos de demanda de energía.
- La **adecuación de la transmisión** que evalúa la capacidad de la red eléctrica para transportar energía entre centros de generación y centros de carga.

### 5.3 Que es la Resiliencia de un Sistema Eléctrico

Es su capacidad de anticipación, respuesta, resistencia y flexibilidad o elasticidad ante condiciones de “stress” creciente a fin de regresar gradualmente a una condición segura ante la ocurrencia de disturbios; se debe cumplir con el suministro de energía eléctrica ante disturbios moderados y ante disturbios severos se debe mantener la integridad de la mayor parte del Sistema Eléctrico.

El concepto de Resiliencia en una red eléctrica se puede extender al considerar todo el conjunto de sistemas informáticos que en conjunto interactúan entre sí.

Los aspectos de resiliencia en materia de Redes Eléctricas Inteligentes se centran en reducir el impacto en la seguridad del SEP y de su infraestructura informática ante eventos que afecten el comportamiento de la red eléctrica:

- Por **intromisión** (informática o física; sabotajes; ciber-ataques)
- Ante **fenómenos naturales** (huracanes; incendios; sismos; tormentas geomagnéticas; frentes fríos; tornados; otros).

El grado en que un SEP pueda soportar la salida en cascada de elementos de la red es una cuantificación de su resiliencia.

### 5.3 Que son las Contingencias

Las contingencias son salidas fortuitas o imprevistas de uno o varios elementos del Sistema Eléctrico.

Como ya se comentó, una de las premisas fundamentales en el diseño de los Sistemas Eléctricos es la Confiabilidad; los Sistemas Eléctricos deben mantenerse operando en forma segura incluso después de ocurrir contingencias factibles. Es por ello por lo que los Sistemas Eléctricos se operan previendo las contingencias de red o de generación.

El análisis de estos problemas operativos generalmente incluye la determinación de las contingencias que comúnmente se basen en evidencia histórica, así como las que son más drásticas y que forman parte del proceso de identificación de contingencias.

La complejidad del análisis de contingencias generalmente aumenta con la dimensión (es decir, el número de nodos, generadores, líneas de transmisión y transformadores) del Sistema o región que se está considerando así como el número de eventos simultáneos involucrados.

Las contingencias provocan cambios repentinos en la configuración del Sistema, que pueden provocar severas violaciones en su condición operativa, tales como sobrecarga en elementos y violaciones en los voltajes en los diferentes puntos de la red eléctrica, y pueden evolucionar en la salida no controlada de otros elementos del Sistema conduciendo a interrupciones masivas del suministro eléctrico, a un colapso parcial o incluso a un colapso total del Sistema.

De esta manera, un Sistema seguro es aquel que incorpora la habilidad de soportar un conjunto de contingencias sin que se produzcan violaciones en las limitaciones operativas y con la mínima interrupción del servicio o la afectación de la calidad del suministro eléctrico.

#### 5.4 La importancia de mantener la estabilidad del Sistema Eléctrico Nacional

La estabilidad de un Sistema Eléctrico significa una condición de equilibrio entre fuerzas opuestas.

Mantener la estabilidad es un aspecto fundamental para garantizar la operación confiable de todo Sistema Eléctrico.

Los Sistemas Eléctricos como el de México y el de la mayoría de los países en desarrollo se caracterizan por su debilidad eléctrica; son más sensibles a cambios en la potencia activa y reactiva de cargas o generación, así como a contingencias por salida de elementos en la red eléctrica; es decir, son más vulnerables que los sistemas eléctricos de países desarrollados.

Las características y problemas técnicos más relevantes en la operación de Sistemas Eléctricos débiles son:

- presentan características longitudinales (grandes distancias entre centros de generación y los principales centros de consumo);
- guardan una estrecha relación con reducidos niveles de corto circuito (baja robustez);
- poseen inherentemente mayor lejanía eléctrica entre los nodos principales de la red troncal hasta las fuentes de suministro de potencia reactiva haciendo más propenso al Sistema a problemas de colapso de voltaje, y
- presentan mayores problemas de naturaleza dinámica, entre los que se pueden mencionar la pérdida de sincronismo entre generadores; separación de sistemas (formación no intencional de islas eléctricas); el control dinámico de la frecuencia y la estabilidad de frecuencia.

A estos problemas se han agregado los que ocasiona la creciente penetración de Centrales Renovables Intermitentes, las cuales además de los impactos que causan en el balance carga-generación del Sistema debido a su comportamiento fluctuante; En México requieren el soporte de generación convencional de CFE que sirve como respaldo o sustitución; adicionalmente, las Centrales Renovables Intermitentes no pueden responder adecuadamente a las desviaciones de frecuencia ni aportar respuesta inercial al Sistema.

## 5.5 Que son los esquemas de alivio en el Sistema Eléctrico Nacional

Los problemas enfrentados para construir nuevos Corredores de Transmisión en el Sistema Eléctrico Nacional han obligado a operar la red eléctrica con cada vez mayores transferencias de potencia en sus elementos.

La búsqueda de mecanismos para mejorar el margen de seguridad del Sistema Eléctrico Nacional ante estas mayores transferencias de potencia ha sido una labor continua y durante varias décadas se han explorado, identificado e implementado diversas soluciones.

Destacan los **esquemas de alivio**, controles suplementarios que son adicionales a los controles convencionales de regulación de voltaje y gobernación de velocidad de las Centrales Eléctricas. Los esquemas de alivio son atractivos y decisivos porque a un bajo costo,

han permitido evitar apagones masivos y serios problemas operativos en el Sistema Eléctrico Nacional ante contingencias, pero que en esencia son soluciones temporales orientadas a mejorar en el corto plazo la Seguridad mas no a la Confiabilidad del Sistema.

Los esquemas de alivio tienen por objeto lograr que un Sistema Eléctrico tienda a una operación estable después de haber sufrido algún disturbio. Estos esquemas son equipos que están instalados y diseminados en diversas instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional y actúan ante determinadas contingencias o condiciones de emergencia, realizando la desconexión controlada y prevista de elementos específicos incluyendo circuitos de carga, generadores y elementos de la red eléctrica para llevar al Sistema a un nuevo estado operativo donde prevalezca su integridad y reduciendo la afectación del suministro eléctrico; todo ello para cumplir con los criterios de seguridad y confiabilidad vigentes.

En los últimos años, en el Sistema Interconectado Nacional y debido por la creciente inserción de nuevas Centrales Eléctricas, se han incrementado las transferencias de potencia en los corredores de la Red Nacional de Transmisión, por lo que también se ha incrementado sustancialmente el uso de esquemas de alivio causando una creciente complicación en la operación del Sistema. Originalmente, estos esquemas de alivio fueron concebidos para usarse en forma extraordinaria, pero gradualmente y en la actualidad del Sistema Eléctrico Nacional su uso se ha vuelto una práctica y necesidad permanente, ocasionando que el Sistema opere con mayor recurrencia en estados de alerta, razón por la cual se ha incrementado su vulnerabilidad.

## 5.6 Que es la falta de respuesta inercial en el Sistema Eléctrico Nacional

La inercia que proporcionan los generadores síncronos constituye el recurso más rápido para la estabilización de frecuencia ante desbalances carga-generación; esto es, cuando ocurre alguna contingencia en la red y se pierde generación, se pierde carga o bien que se separe o fragmente el sistema eléctrico (conocido como formación de islas eléctricas).

La inercia es inherente a generadores convencionales (máquinas síncronas) y con una estrecha relación a la frecuencia de la red eléctrica. Una vez que ocurre un disturbio, la masa física de los rotores de los generadores convencionales experimenta un par debido al cambio en la frecuencia de la red eléctrica; este par induce una transferencia de energía cinética debido a la rotación del generador a la red eléctrica.

La transferencia de energía de los generadores convencionales a la red eléctrica permite ralentizar instantáneamente la tasa de cambio de frecuencia de la red eléctrica. Esta tasa de cambio da la medida o que tan rápido cambia la frecuencia después de un disturbio en un Sistema Eléctrico y está determinada por la inercia del Sistema y la magnitud del disturbio.

Tradicionalmente, esta razón de cambio de la frecuencia era menos significativa debido a que los Sistemas Eléctricos consistían principalmente en generadores síncronos en los que no se presentaban estos problemas. Sin embargo, para el caso del Sistema Eléctrico Nacional y en particular en el Sistema Interconectado Nacional, los problemas operativos son crecientes al estar fuertemente influenciados por la creciente penetración de Centrales Renovables Intermitentes.

Las Centrales Renovables Intermitentes ocasionan además de los impactos en el balance carga-generación debido a su comportamiento fluctuante, el no responder adecuadamente a las desviaciones de frecuencia ni aportar respuesta inercial al Sistema.

## 5.7 La alta relevancia del despacho de generadores convencionales por Confiabilidad del Sistema

La determinación de los generadores requeridos para aportar Confiabilidad y Seguridad al Sistema Eléctrico Nacional en condiciones normales de operación y como previsión ante contingencias es tarea fundamental de la planeación y operación del Sistema Eléctrico Nacional a fin de evitar estados de alerta o incluso de emergencia. Esta tarea es más crítica cuando el sistema se opera con áreas locales con alta densidad de carga y soporte de voltaje reducido, problemática que se incrementa con la alta incorporación de Centrales Renovables Intermitentes.

Las experiencias internacionales demuestran que la generación asignada y despachada por confiabilidad se necesita a nivel local para asegurar el suministro eléctrico donde las restricciones de transmisión limitan las transferencias de energía entre las regiones del Sistema. En el caso del Sistema Eléctrico Nacional, las centrales convencionales de CFE son fundamentales, de modo que ante la ocurrencia de contingencias de red y generación críticas, el Sistema Eléctrico debe evitar incurrir en problemas de inestabilidad y sobrecargas en los elementos de la red eléctrica.

## 5.8 Que es el deterioro de la robustez del Sistema Eléctrico Nacional

En esencia, el nivel de corto circuito en una red eléctrica es una medida de su “robustez”.

Un sistema con bajo nivel de corto circuito presenta mayores abatimientos de voltaje en la operación normal y particularmente cuando se presentan fallas (por ejemplo cuando cae un rayo en una línea de transmisión, cuando se desprende algún conductor por algún fenómeno natural, cuando se ioniza el aire a causa de incendios por debajo de las líneas de transmisión y se vuelve conductor drenando corriente de la línea a tierra), Las cuales si bien son previsibles, finalmente son inevitables en todo Sistema Eléctrico, puesto que las líneas de transmisión al ser elementos expuestos y de gran longitud constituyen innumerables puntos de falla.

La generación convencional y los grandes motores industriales (por ejemplo, las motobombas del sistema Cutzamala) son las fuentes que aportan corriente de corto circuito cuando se presenta una falla en algún punto de la red.

Las fallas que ocurren en la red eléctrica se liberan por la operación de protecciones primarias para evitar la salida no controlada de muchos más elementos además del elemento o elemento donde se presentó la falla (esto es el primer mecanismo de defensa ante estas).

La “distancia eléctrica” desde los generadores hasta el punto de falla es una referencia de la robustez de la red eléctrica.

Los sistemas longitudinales como el de México presentan grandes distancias eléctricas desde la red troncal hasta los generadores, esencialmente por el mallado de la red y la lejanía entre los centros de generación y los de consumo. Esto caracteriza a los sistemas débiles o longitudinales.

Ahora bien, al desplazar generadores convencionales por Centrales Renovables Intermitentes se reduce el nivel de corto circuito, debido a que estos últimos carecen de un sistema físico para aportar la corriente eléctrica instantánea a la red cuando hay una falla. Esencialmente por carecer de elementos y masas rotatorias que la producen, así como su acoplamiento asíncrono a la red eléctrica (están enlazadas mediante inversores electrónicos) que se puede interpretar como un desacoplamiento e insensibilidad a una red de corriente alterna.

Entonces la inserción no planificada de estas centrales causa finalmente problemas operativos; también pueden influir adversamente en los ajustes de las protecciones eléctricas

de la red de transmisión en la medida que va creciendo la penetración de estas fuentes a un sistema eléctrico

## 5.9 Que se entiende por Balcanización de la Red Nacional de Transmisión

La liberalización de la generación y comercialización de energía eléctrica, así como las innumerables ventajas que la reforma energética le concedió al sector privado han derivado en un desarrollo caótico de la capacidad de generación eléctrica, que ha debilitado y fragilizado la red eléctrica del país.

Por un lado, la política de acelerar la privatización aprovechando el progreso tecnológico en fuentes renovables en el contexto de lucha contra el calentamiento global, propició que en tan sólo cinco años se multiplicara más de cuatro veces la capacidad de generación eólica y solar, la cual pasó de 3,085 MW a inicios de 2016 a 15,448 a finales de 2021

Gran parte de esta sobreoferta de generación, de la cual una buena parte es generación renovable intermitente instalada en sitios que maximizan las utilidades de sus propietarios, ha puesto en un predicamento a la red eléctrica del país cuyo control operativo recae en el Centro Nacional de Control de Energía.

Por otro lado, la misma política de privatización permitió el seccionamiento de las líneas de transmisión con el único propósito de insertar centrales privadas, pasando por alto que esas líneas fueron diseñadas para transportar bloques de gran potencia entre regiones y no para dar viabilidad a proyectos individuales.

La acción reiterada de seccionar líneas de la red nacional de transmisión para interconectar centrales de generación a base de recursos renovables Intermitentes e intermitentes es conocida en el ámbito internacional como “balcanizar” de la red de transmisión.<sup>10</sup> El término refleja bien lo que sucede cuando una central eléctrica se inserta en la línea de transmisión: la primera se apropia de una parte de la capacidad de la línea y ésta pierde capacidad para cumplir cabalmente con la tarea para la cual fue diseñada.

Las dificultades para construir nuevos corredores de transmisión en el país han obligado a operar la red eléctrica con transferencias crecientes de potencia entre sus elementos, de ahí

---

<sup>10</sup> El término balkanisation, de origen francés, hace alusión a la desmembración en varias naciones acaecida en la península de los Balcanes. Ese concepto se usa de manera corriente en ámbito político para referirse a la desmembración de un país en comunidades o territorios enfrentados. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Balkanisation>



que la segmentación de líneas reduce su efectividad y sobrecarga otras, con la consiguiente pérdida de Confiabilidad y Seguridad.

La “balcanización” permitida por la pasada administración fue el origen del gran disturbio acaecido en el Noreste del país el 28 de diciembre de 2020, que dejó sin electricidad a 10.3 millones de usuarios durante una hora con 44 minutos horas. En esa Región, que incluye los estados de Nuevo León y Tamaulipas, hacia finales de 2020 se han interconectado 26 nuevas Centrales fuera de toda planificación, lo cual ha resultado en un aumento desproporcionado en la vulnerabilidad de las líneas de transmisión que enlazan la zona con el resto del territorio nacional.

Es cierto que las centrales eléctricas eólicas y fotovoltaicas ofrecen grandes ventajas ambientales, pero también es cierto que su interconexión complica la operación de las redes eléctricas de potencia, debido a su elevada variabilidad, baja disponibilidad y falta de inercia eléctrica, fenómenos que debe ser compensados por centrales convencionales que funcionan con energía nuclear, combustibles fósiles o hidroelectricidad.

Las centrales eólicas y fotovoltaicas aportan generación inherentemente intermitente o fluctuante, que dependen de las condiciones climáticas y las fases del ciclo solar. De ahí que su conexión a la red afecte la confiabilidad, continuidad y calidad del suministro eléctrico.

Esas tecnologías no contribuyen a la regulación primaria del control de calidad de la frecuencia, tampoco ofrecen apoyo al sistema en caso de disturbios, más bien degradan la capacidad del sistema interconectado a menos de que su inserción venga acompañada de refuerzos de la red de transmisión o bien de reservas de generación (baterías o dispositivos de almacenamiento), con capacidad de mitigar esos inconvenientes. Las centrales que aprovechan el recursos solar y eólico son útiles, pero si medidas adecuadas perjudican la operación eléctrica.