

Estado de la Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional

Héctor Beltrán

Ciudad de México, 2023

Confiabilidad en un Sistema Eléctrico

- En el estudio formal de la ingeniería, se enseña que la confiabilidad es un concepto que se refiere a la probabilidad de que un sistema o dispositivo opere de una forma determinada, en un ambiente determinado, bajo condiciones determinadas y durante un tiempo determinado.
- De esta manera, se puede observar que la confiabilidad **NO** se refiere a la ausencia de fallas; sino que, ante la ocurrencia de estas*, ese sistema o dispositivo pueda resistirlas y continúe operando de manera segura.
- En el contexto de los sistemas eléctricos de potencia, la confiabilidad comprende dos importantes aspectos que son el "**resource adequacy**" y el "**system security**". El primer término se refiere a la suficiencia de recursos para que se pueda abastecer la demanda de electricidad, mientras que el segundo término está asociado con la operación segura de todos los equipos y dispositivos del SEN.

Confiabilidad en un Sistema Eléctrico

En cuanto a la suficiencia de recursos que supone el aspecto *"resource adequacy"*, lo primero que se puede pensar es que exista generación suficiente, es decir, que existan suficientes centrales operando para generar la cantidad de electricidad que se demanda. **Sin embargo, esa visión se queda corta, debido a que la suficiencia de recursos no solo se refiere a la generación**, sino también a la infraestructura de control (medición, comunicación, protección), transmisión (km-c), transformación (MVA), compensación (MVA_r), servicios conexos y distribución que son necesarios para dar un servicio confiable a la población.



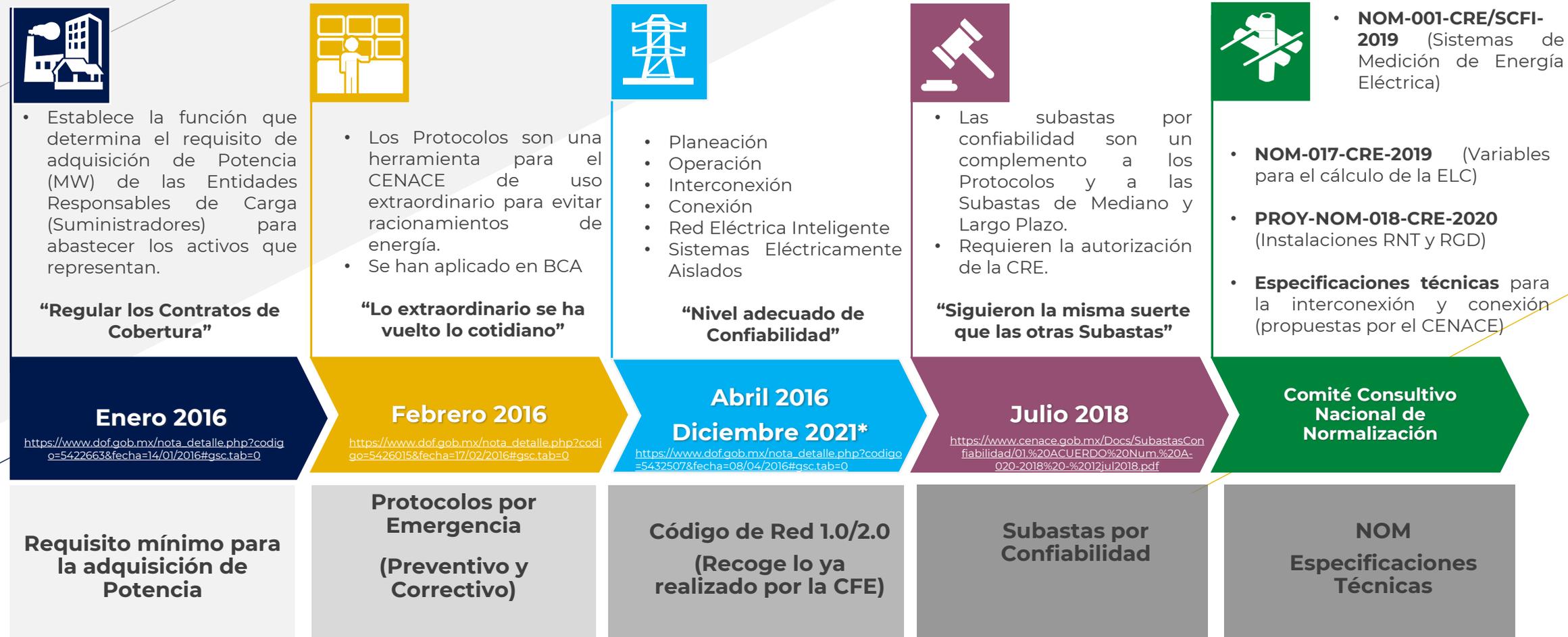
Confiabilidad en un Sistema Eléctrico

Para el segundo aspecto relacionado con el "*system security*", toda la infraestructura eléctrica requerida se diseña, construye y opera con base en especificaciones y normas técnicas que aseguran que ante condiciones normales y ante la ocurrencia de eventos (**contingencias n-1, n-2, incluso n-1-1**) no exista ningún riesgo o daño a la misma infraestructura, al personal que la opera, ni a la población en general.

Dejando atrás la definición técnica del concepto de confiabilidad eléctrica, en México la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) nos permite analizar este concepto desde el punto de vista legal. De acuerdo con la fracción X del artículo 3 de la LIE, **la confiabilidad es una habilidad que posee el SEN para atender la demanda bajo condiciones de "suficiencia" y "Seguridad de Despacho" conforme a los criterios que emita la Comisión Reguladora de Energía (CRE).**

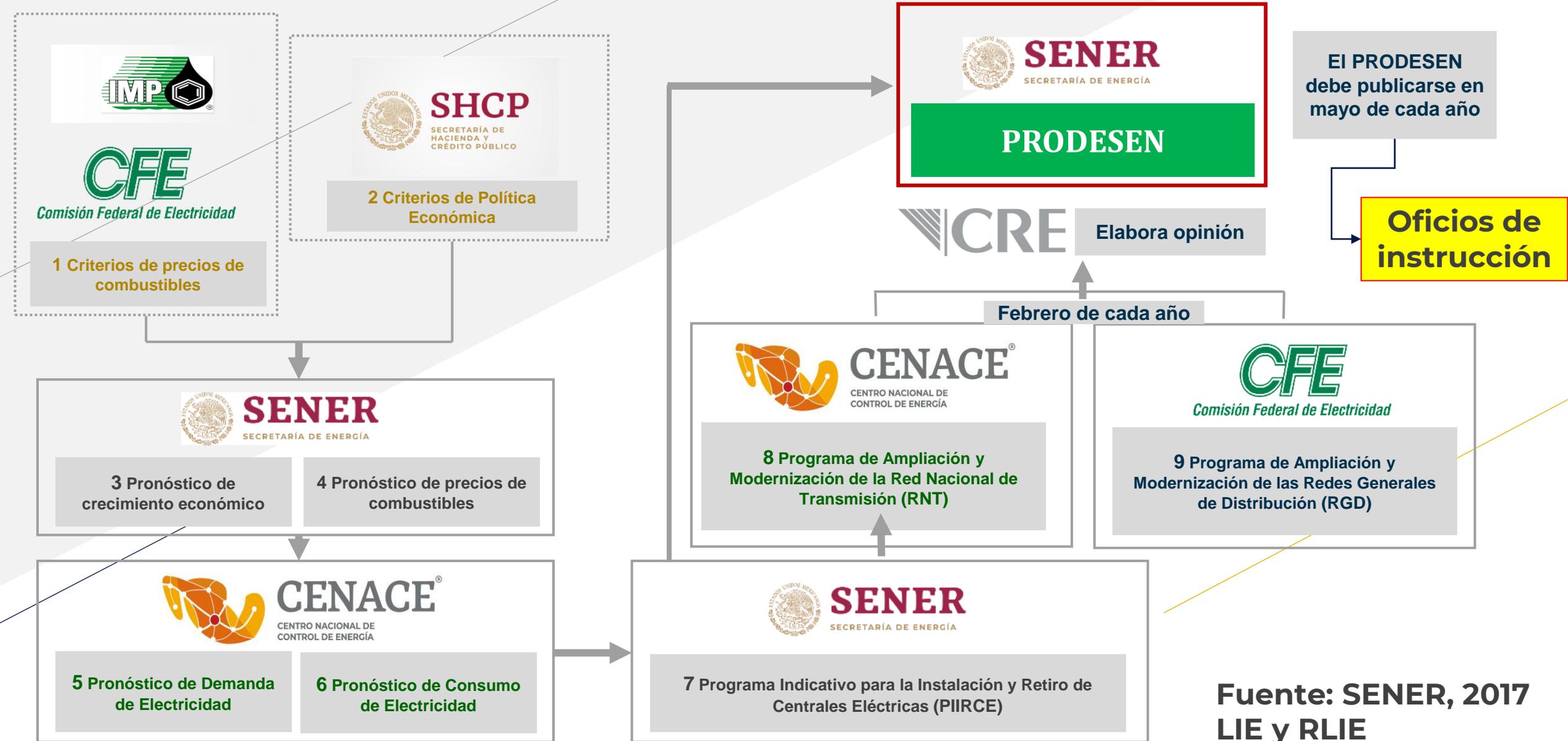
¿Qué criterios ha desarrollado la CRE?

A partir de la expedición de la LIE (2014) la CRE inició el desarrollo de los siguientes instrumentos en materia de Confiabilidad:



Planeación

El proceso de planeación del SEN



El PAM RNT que elabora el CENACE



GOBIERNO DE
MÉXICO

Trámites

Gobierno



Blog

Multimedia

Prensa

Documentos

Contacto

Acciones y Programas

SIM

Transparencia

Protección de Datos Personales

Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y de la RGD

Nombre	Reporte
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2022 - 2036	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2021 - 2035	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2020 - 2034	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2019 - 2033	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2018 - 2032	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2017-2031	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2016-2030	
Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2015-2029	

De conformidad con lo que establece la Ley de la Industria Eléctrica, en esta sección se podrán consultar los Programas de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD propuestos por el CENACE, así como los diagramas unifilares.

El PRODESEN anual que emite la Secretaría de Energía, podrá consultarse [aquí](#)

https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx

El PAM RNT que elabora el CENACE



Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista

**PAMRNT
2022 - 2036**



Por mandato de la CRE, todos los PAMRNT que propone el CENACE de manera anual debe de incluir un **“DIAGNÓSTICO OPERATIVO DEL SEN”**.

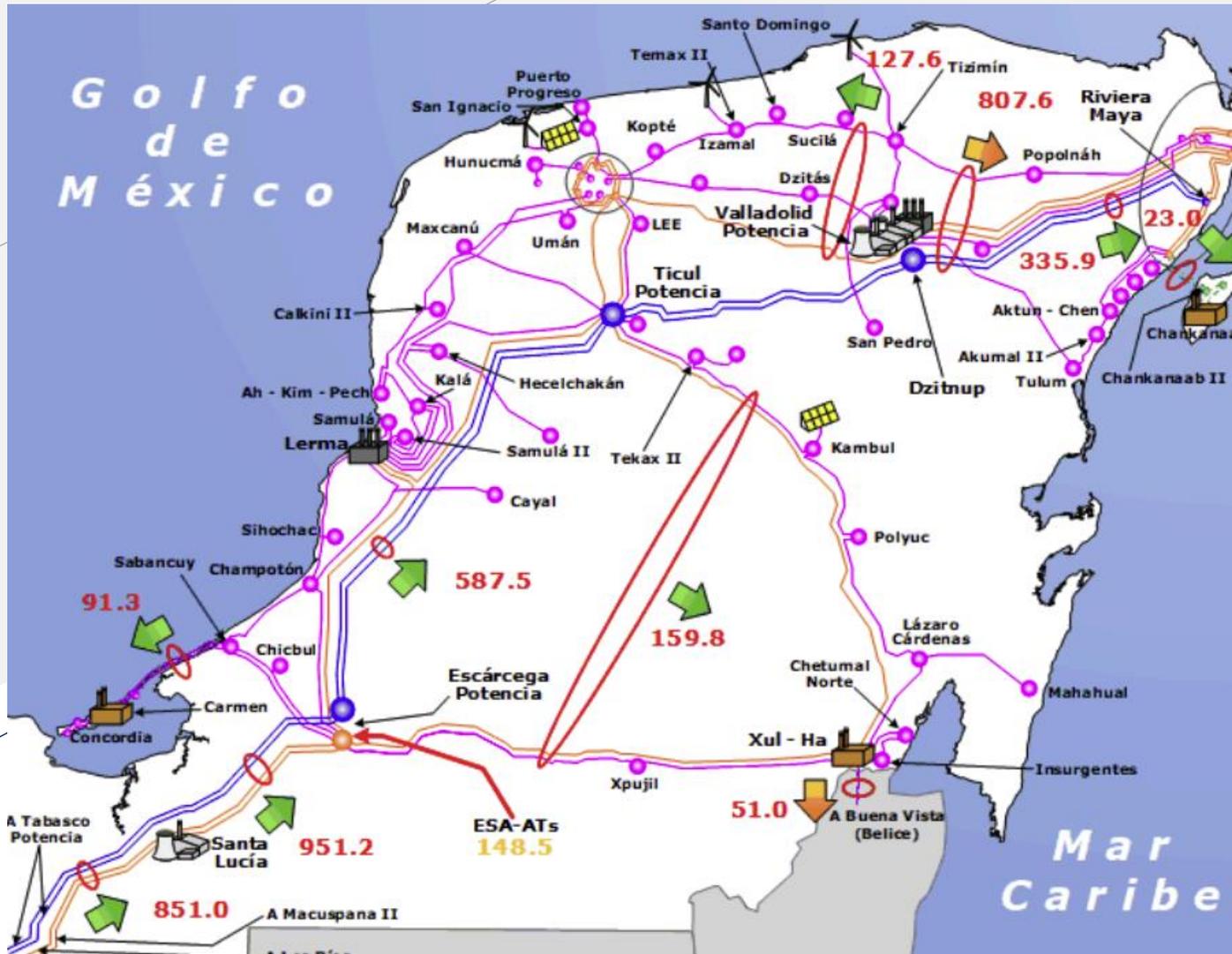
Esto se hizo para el análisis y justificación de las obras propuestas en la Red Nacional de Transmisión.

https://www.cenace.gob.mx/Docs/10_PLANEACION/ProgramasAyM/Programa%20de%20Ampliacion%20y%20Modernizacion%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202022%20-%202036.pdf

Diagnóstico Operativo del SEN

V. Diagnóstico operativo 2021.....	72
Análisis por Gerencias de Control Regional	72
Comportamiento de la demanda y consumo brutos del Sistema Eléctrico Nacional durante 2021	96
Comportamiento semanal de la demanda máxima integrada y consumo bruto del SIN	96
Comportamiento semanal de la demanda máxima integrada y consumo bruto del Sistema Interconectado Baja California	98
Comportamiento semanal de la demanda máxima integrada y consumo bruto del Sistema Interconectado Baja California Sur	100
Comportamiento de la demanda máxima semanal y consumo del Sistema Interconectado Mulegé	101
Comportamiento de la generación hidráulica	103
Margen de Reserva Operativa.....	103
Condiciones operativas en las transferencias de potencia en los principales enlaces de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional en la demanda máxima de verano de 2021	107
Principales Corredores de transmisión saturados	110
Estadística de los Estados Operativos Alerta y Emergencia.....	112
Interrupciones en el suministro de energía	114

Diagnóstico Operativo de la GCR Peninsular



- **Generación**
(MW/MWh)
- **Transmisión**
(MW / km-c)
- **Transformación**
(MVA)
- **Compensación**
(MVA_r)

Diagnóstico Operativo de la GCR Peninsular

Cuadro 5.7. Diagnóstico Operativo de la Gerencia de Control Regional Peninsular

GENERACIÓN

- Durante 2020 entró en operación una Central Eléctrica Eólica con una capacidad instalada de 90 MW y una Central Eléctrica Fotovoltaica incrementó de capacidad un 10%, la cual entró en operación comercial en 2019. Sumando una capacidad total de interconexión de energía renovable al cierre del 2020 de 293.8 MW, manteniéndose dicha capacidad instalada al cierre del 2021.
- Desde 2010 se tiene indisponibilidad en el suministro de gas natural. De una capacidad de 1,261 MW, en promedio se tiene una degradación de 400 MW (32%) de generación en tres Ciclos Combinados de la zona. En la demanda máxima registrada el 7 de junio de 2021 de 2,222.8 MW, se presentó una indisponibilidad de 551.5 MW (44 %) en los principales Ciclos Combinados, estando fuera Ciclo Combinado AES Mérida (484 MW) y operando:
 - o CCC Valladolid III con Gas Natural.
 - o CCC Campeche limitado por operar con Diésel.Manteniéndose esta misma indisponibilidad de generación al cierre del 2021.
- Debido a la contingencia sanitaria originada por el COVID-19 en 2020, se registró un decremento en la demanda de la GCR Peninsular de aproximadamente 9 % con respecto a la registrada en 2019. En contraste, la demanda máxima registrada en 2021 fue similar a la del 2019 (decremento del 0.4 %), lo cual representa un crecimiento de aproximadamente del 9.5 % con respecto a la demanda registrada en el 2020, lo que evidencia la recuperación económica a los niveles de 2019. Con el repunte de la demanda registrada en el presente año y ante la indisponibilidad de generación, se sigue dependiendo de los EAR, de los Esquemas de Protección de Sistema y de la necesidad de sincronizar generación TG de baja eficiencia (192.6 GWh), para poder garantizar la Continuidad del Suministro Eléctrico hacia la Península de Yucatán.

Diagnóstico Operativo de la GCR Peninsular

TRANSMISIÓN

- En el enlace de transmisión de Escárcega al Sureste, compuesto por dos LT en 400 kV entre las SE Tabasco Potencia - A3Q00 y A3Q10 - Escárcega Potencia y las dos LT en 230 kV entre las SE Escárcega Potencia - 93210 y 93220 - Santa Lucía, se operó con un valor máximo de 1,200 MW. Adicionalmente, la Compuerta de Flujo operó 250 horas con el EAR armado ante la contingencia N-1 y 7,870 horas con EAR armado ante la contingencia N-2. Por lo tanto, el 80% del año se estuvo en riesgo de interrumpir el Suministro Eléctrico de la demanda hacia la Península de Yucatán ante la ocurrencia de una contingencia N-2. Adicionalmente, ante la indisponibilidad de gas natural, se recurrió a la sincronización de las unidades TG instaladas en la GCR Peninsular y

en caso de que éstas no hubieran sido sincronizadas, este Corredor hubiera alcanzado un valor máximo de transmisión de 1,480 MW y superando su límite en 501 horas. Desde el PAMRNT 2017-2031, se identificó la necesidad de reforzar la Red Eléctrica de transmisión entre las GCR Oriental y GCR Peninsular, por lo que se propuso el proyecto de Interconexión Sureste-Peninsular, no obstante con el propósito estratégico establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 del rescate de la CFE como palanca de desarrollo nacional y dando cumplimiento a los dispuesto por el artículo 33 fracción V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, se tienen dos proyectos de Centrales Eléctricas de Ciclo Combinado en Mérida (559 MW) y Valladolid (1125 MW) con fecha de entrada en operación en 2024; y asociadas a ellas un aumento en la capacidad del gasoducto Mayakán a 500 MMPCD, con lo cual la problemática expuesta se solventaría con estas acciones.

Contingencias en la GRC Peninsular

 **CFEmx** 
@CFEmx · [Seguir](#) 

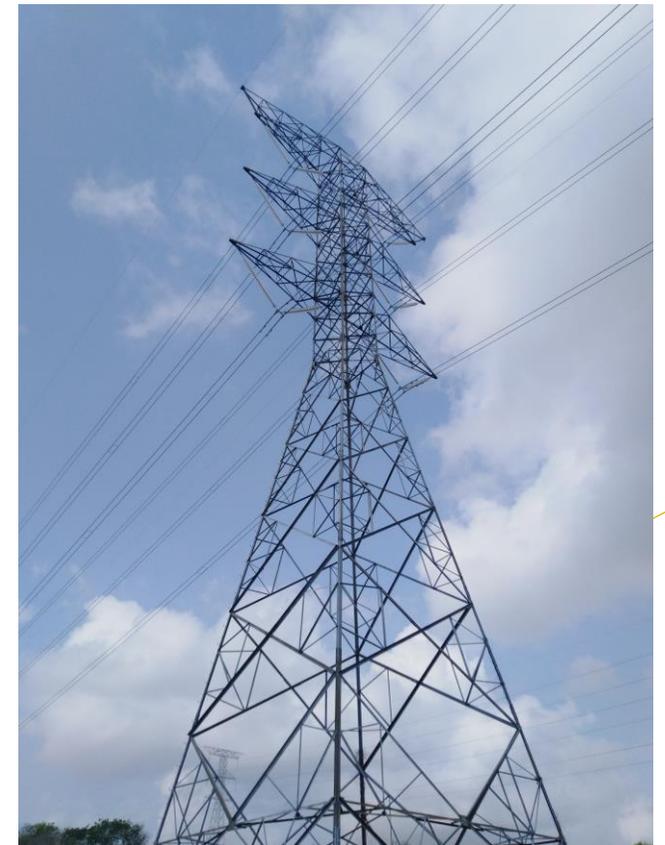
#VIDEO: La quema de maleza entre torres de la Red Nacional de Transmisión de Ticul a Escárcega provocó la interrupción del suministro eléctrico en la Península de Yucatán. 



Ver en Twitter



Contingencias en la GRC Peninsular



Estado de las obras ya instruidas a CFE



VIII. Impacto en la eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad del suministro de energía eléctrica por el retraso en la construcción de los proyectos instruidos por SENER a CFE Transmisión.....	207
Priorización de Proyectos Instruidos por SENER a CFE Transmisión	207
Impacto en la GCR Central	222
Impacto en la GCR Oriental	227
Impacto en la GCR Occidental	238
Impacto en la GCR Noroeste	249
Impacto en la GCR Norte	264
Impacto en la GCR Noreste	277
Impacto en la GCR Peninsular	284
Impacto en el Sistema Interconectado Baja California	300
Impacto en el Sistema Interconectado Baja California Sur	310
Impacto en el Sistema Interconectado Mulegé	316

Estado de las obras instruidas en la RNT

- La LIE establece que la SENER tiene la atribución de instruir a la CFE a que se construyan determinados proyectos de infraestructura eléctrica. También tiene la atribución de llevar a cabo **licitaciones privadas para la construcción y operación de infraestructura eléctrica**.
- De 2015 a 2021, la SENER ha autorizado **184** proyectos de Ampliación y Modernización de la RNT, en donde 183 proyectos fueron instruidos a la CFE Transmisión. Del total de estos proyectos instruidos, **4** de ellos se encuentran cancelados y **6** proyectos están pausados o requieren cancelación.
- Como parte del proceso de planeación anual, el CENACE realizó un análisis de cada uno de los proyectos instruidos y se ha confirmado su requerimiento, mediante la validación de la fecha de entrada en operación necesaria. ***“Lo que se necesitaba antes, se sigue necesitando ahora”***.
- Del conjunto de proyectos instruidos y que todavía son necesarios, en enero del 2022 el CENACE llevó a cabo una actualización en el orden de prioridad de los proyectos instruidos por la SENER utilizando diversos criterios.

Criterios del CENACE para priorizar obras

- **Proyectos que resuelven la saturación en Red Eléctrica completa**

- ✓ Saturación existente
- ✓ Saturación más próxima de acuerdo con el pronóstico de la demanda
- ✓ Saturación por demanda no suministrada o negación de servicios

- **Proyectos que resuelven la saturación en enlaces críticos**

- ✓ Red eléctrica completa
- ✓ Contingencia sencilla (n-1)
- ✓ Evitar sobrecargas operativas

- **Proyectos que comprometen la seguridad física y/o de equipo eléctrico**

- **Proyectos que resuelven la saturación local ante contingencia sencilla**

- ✓ Por monto de demanda no suministrada
- ✓ Por recurrencia de la contingencia
- ✓ Por tipo de carga afectada

- **Proyectos que resuelven la saturación local ante contingencia sencilla**

- ✓ Por monto de demanda no suministrada
- ✓ Por recurrencia de la contingencia
- ✓ Por tipo de carga afectada

- **Proyectos que resuelven la problemática local de tensión:**

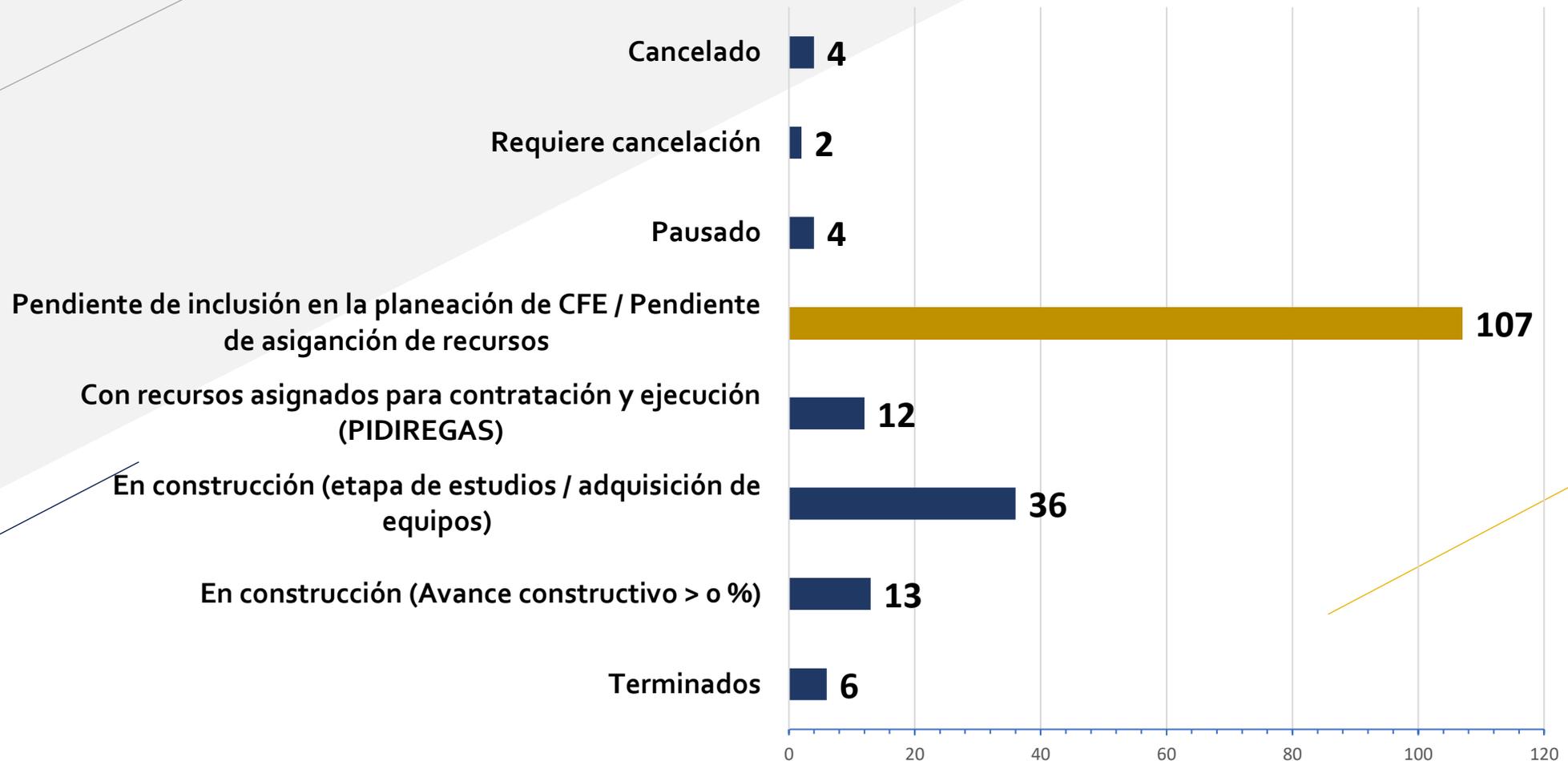
- ✓ Red Eléctrica completa
- ✓ En contingencia sencilla

- **Proyectos de modernización que incrementan la Confiabilidad del SEN**

- **Proyectos con cambios de metas físicas indefinidos**

Estado de las obras instruidas en la RNT

Estado de los proyectos instruidos por la SENER a la CFE



Líneas de Corriente Directa canceladas (1)

PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
PRODESEN 2018-2032

Licitación de la Línea de Transmisión de Corriente Directa, Yautepec – Ixtepec

En 2015, SENER instruyó a CFE la realización del proyecto de Línea de Transmisión de Corriente Directa, Yautepec – Ixtepec. Con esta nueva línea, se podrán transportar **3,000 MW**, para desahogar la energía eólica que se genera en el Istmo de Tehuantepec.

El proyecto consiste en la construcción, modernización, operación y mantenimiento de **1,221 kilómetros** de circuitos de línea de transmisión eléctrica que correrán a un voltaje de **500 kV** desde Ixtepec, Oaxaca, hasta Yautepec, Morelos.

La convocatoria fue publicada por la CFE el 8 de febrero de 2018 como Concurso Abierto No: CFE-0036-CASOA-0001-2018¹¹⁵.

El proyecto está integrado por 15 obras:

- 2 obras de estaciones convertidoras con voltaje ± 500 kV – Bipolo, 3,000 MW – 7,200 MVA – 500 kV DC/400 kV AC,
- 4 alimentadores DC en 500kV y 5 alimentadores de CA en 400 kV;
- 7 obras de subestaciones con voltaje de 400 kV con una capacidad de 1,750 MVA, 166.68 MVA_r y 11 alimentadores;
- 5 obras de líneas de transmisión de CA con un voltaje de 400 kV y un total de 437.3 km-C; y
- 1 obra de línea de transmisión de CD con un voltaje de 500 kV y un total de 1,221.0 kmC,

Las obras estarán localizadas en los Estados de Estado de México, Morelos, Puebla, Oaxaca, CDMX y Veracruz.

Líneas de Corriente Directa canceladas (1)

Licitación Ixtepec-Yautepec CFE-Transmisión

El 8 de febrero de 2018, CFE-Transmisión, por conducto de la Subdirección de Estructuración de Proyectos de la Dirección Corporativa de Ingeniería y Proyectos de Infraestructura, publicó en el Micrositio de Concursos de la CFE,⁴ el Pliego de Requisitos del Concurso Abierto No. CFE-0036-CASOA-0001-2018 para la contratación del Proyecto 303 LT en Corriente Directa Ixtepec Potencia (Oaxaca) Yautepec Potencia (Morelos).

El proyecto 303 LT está integrado por 15 obras: 2 obras de estaciones convertidoras con voltaje ± 500 kV Bipolo, 3,000 MW, 7,200 MVA, 500 kV DC/400 kV AC, 4 alimentadores DC en 500 kV y 5 alimentadores de CA en 400 kV; 7 obras de subestaciones con voltaje de 400 kV con una capacidad de 1,750 MVA, 166.68 MVar y 11 alimentadores; 5 obras de líneas de transmisión de CA con un voltaje de 400 kV y un total de 437.3 km-C; y 1 obra de línea de transmisión de CD con un voltaje de 500 kV y un total de 1,221.0 km-C, localizadas en los estados de Estado de México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Ciudad de México y Veracruz.

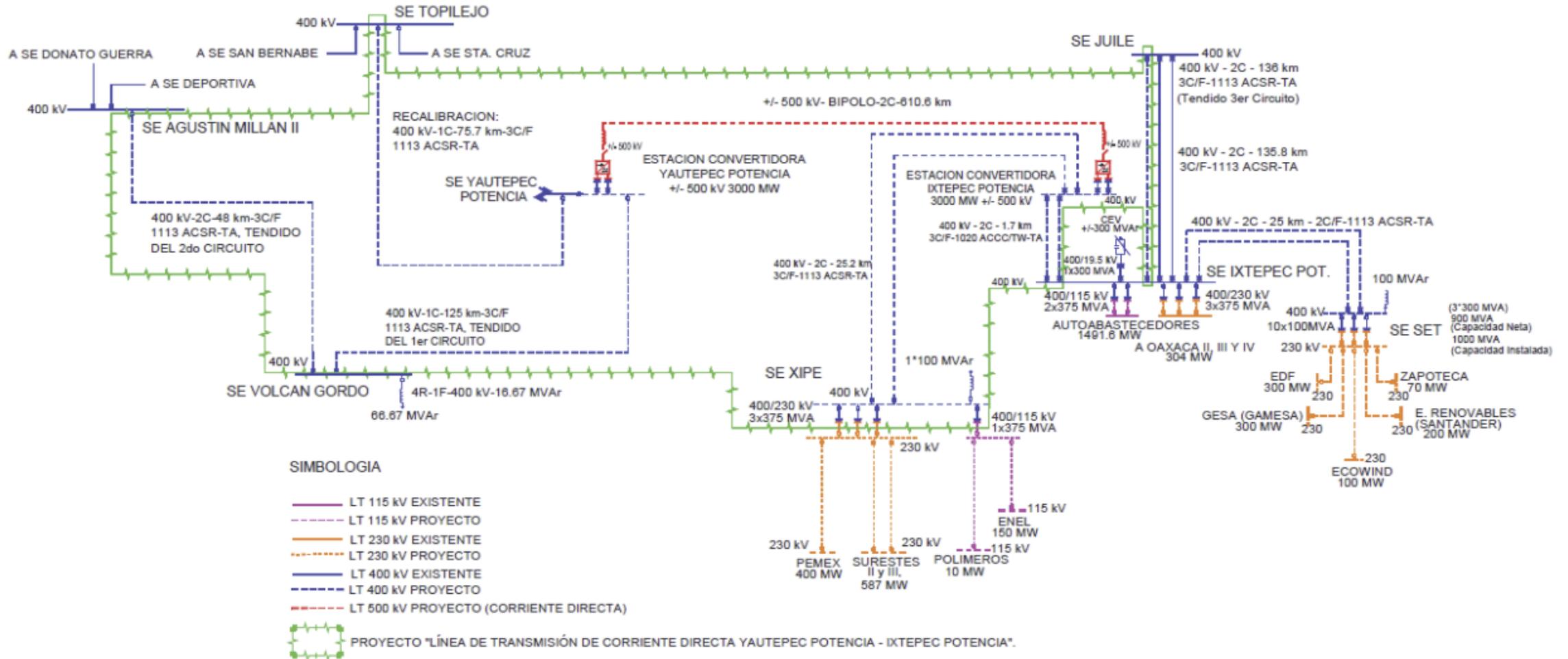
De acuerdo con la información del Micrositio de Concursos de la CFE, la fecha límite para recibir ofertas es el 19 de julio de 2018 y el fallo de la licitación se realizaría el 3 de agosto de 2018.



Fuente: CFE

Líneas de Corriente Directa canceladas (1)

GRÁFICO 5.3.2. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO ASOCIADO CON LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN CORRIENTE DIRECTA YAUTEPEC POTENCIA – IXTEPEC POTENCIA



Líneas de Corriente Directa canceladas (1)



Fecha de actualización
28/01/2019

PROYECTO

CONSTRUCCIÓN, MODERNIZACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE CORRIENTE DIRECTA, YAUTEPEC - IXTEPEC, EN LOS ESTADOS DE MORELOS, OAXACA, PUEBLA, VERACRUZ, CIUDAD DE MÉXICO Y ESTADO DE MÉXICO.

SECTOR: ELECTRICIDAD
SUBSECTOR: TRANSMISIÓN / DISTRIBUCIÓN

Tipo de inversión: Greenfield

Nombre corto del proyecto: 0024 CFE: Línea de Transmisión de Corriente Directa, Yautepec – Ixtepec

Moneda del contrato: Inversión estimada MXN
Dólares EUA (USD) \$ 24,000,000,000

Inversión estimada USD
\$ 1,200,000,000

Tipo de cambio pesos por dólar utilizado por la SHCP para el paquete económico 2019
\$ 20

DESCRIPCIÓN

Construcción, modernización, operación y mantenimiento de 1,221 kilómetros circuito de línea de transmisión eléctrica que correrán a un voltaje de 500 kilovolts desde Ixtepec, Oaxaca, hasta Yautepec, Morelos. Con esta nueva línea, se podrán transportar 3,000 megawatts, para desahogar la energía eólica que se genera en el Istmo de Tehuantepec.

La inversión estimada para esta obra se dividirá en dos partes con dos tipos de asociación: La primera será un contrato en un esquema similar a los proyectos de impacto diferido en el registro del gasto (Pidiregas) mediante pagos condicionados realizados al ganador de la subasta a precio mínimo por cada entrega de obras;

La segunda será la construcción de líneas de corriente alterna en un esquema de construcción, arrendamiento y transferencia mediante la constitución de un fideicomiso que recibirá las obras y las mantendrá hasta que hayan sido pagadas para su transferencia a la CFE.

Alcances del contrato: Construcción, Modernización, Operación, Mantenimiento

Líneas de Corriente Directa canceladas (2)

Interconexión Baja California – Sistema Interconectado Nacional

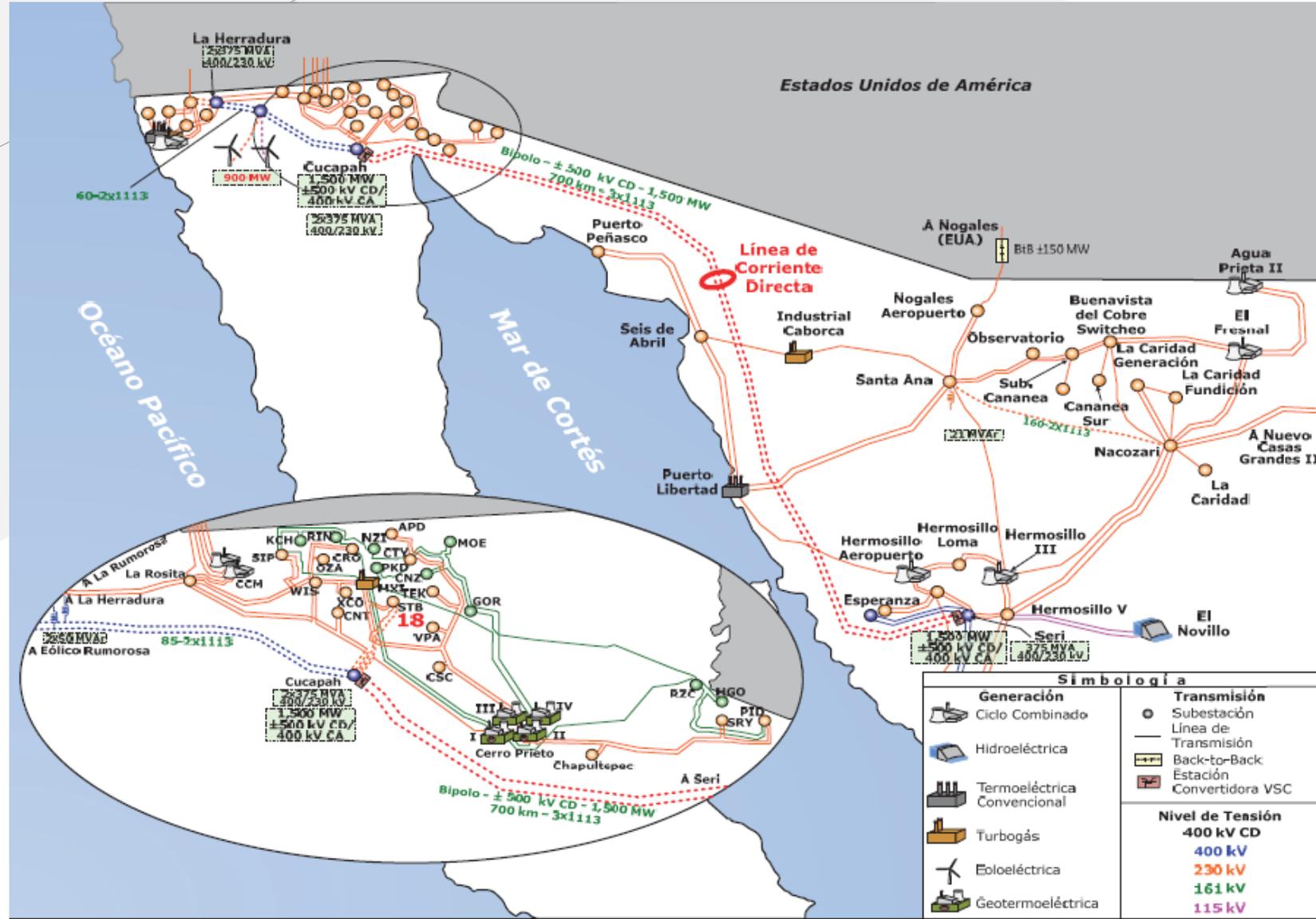
La LIE faculta a la SENER a instruir a los Transportistas la ejecución de los proyectos contenidos en los Programas de Ampliación y Modernización de la RNT y de las RGD , y prevé que el Estado, a través de la SENER, directamente o los Transportistas, podrá formar asociaciones o celebrar contratos con particulares para que lleven a cabo por cuenta de la Nación, entre otros, el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el Servicio Público de Transmisión de Energía Eléctrica.

Con base en lo anterior, el pasado 2 de febrero, la SENER, por conducto de la Unidad del Sistema Eléctrico Nacional y Política Nuclear, publicó en el DOF la Convocatoria correspondiente a la Licitación Pública Internacional LT/SENER-01-2018 para el otorgamiento del Contrato de Gestión y Operación de la Infraestructura de Transmisión Eléctrica para la interconexión entre el Sistema Eléctrico Baja California (BC) y el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

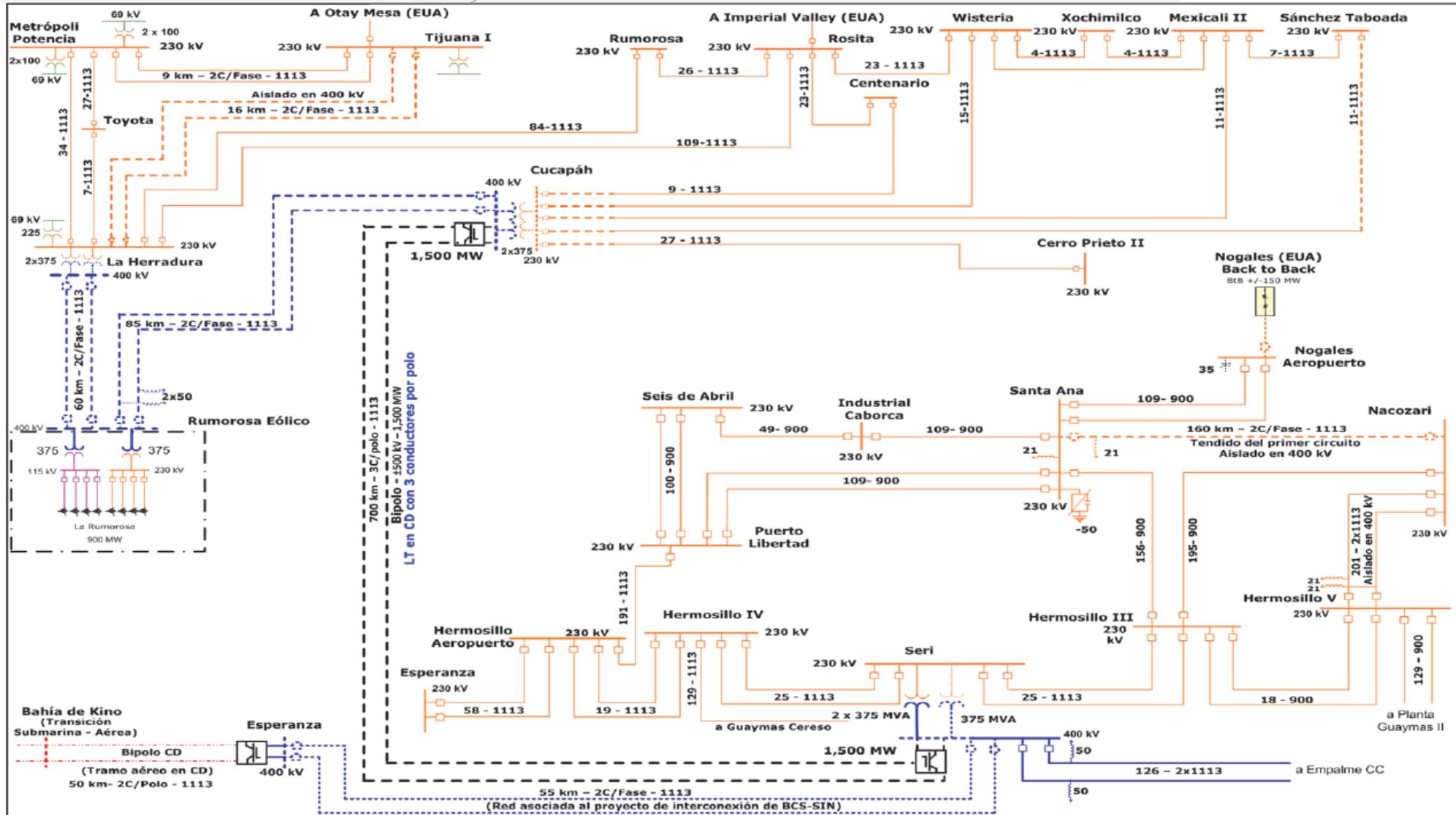
El proyecto consiste en interconectar el Sistema eléctrico de Baja California (BC) con el Sistema Interconectado Nacional (SIN). La línea de transmisión de energía eléctrica partirá de Seri, Hermosillo en el estado de Sonora, hasta Cucapah, Mexicali en el estado de Baja California.

Dicho proyecto considera una interconexión en corriente directa de punto a punto bipolar con una capacidad de diseño de 1,500 MW, en un nivel de tensión de ± 500 kV y operación inicial a 1,000 MW. Se conectará de la Subestación (SE) Cucapah en Mexicali, a la SE Seri en Hermosillo, con una longitud estimada de 700 km. Asimismo, se considera la construcción de dos estaciones convertidoras, con tecnología HVDC VSC.

Líneas de Corriente Directa canceladas (2)



Líneas de Corriente Directa canceladas (2)



Fuente: CENACE

<https://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2018/PRODESEN18.pdf>

Líneas de Corriente Directa canceladas (2)

Licitación BC-SIN SENER³

El 2 de febrero de 2018, la SENER, por conducto de la Unidad del Sistema Eléctrico Nacional y Política Nuclear, publicó en el DOF la Convocatoria correspondiente a la Licitación Pública Internacional LT/SENER-01-2018 para el otorgamiento del Contrato de Gestión y Operación de la Infraestructura de Transmisión Eléctrica para la interconexión entre el Sistema Eléctrico Baja California (BC) y el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

El proyecto de interconexión entre el Sistema Eléctrico BC y el SIN fue incluido dentro de los programas de ampliación autorizados, PAMRNT 2016-2030 y PAMRNT 2017-2031, previa opinión de la CRE, por lo que fue incorporado en el PRODESEN 2016-2030 y PRODESEN 2017-2031 dentro del Objetivo 1: Interconectar el Sistema Interconectado Nacional con los Sistemas Aislados de la Península de Baja California.

El proyecto consiste en la instalación de dos estaciones convertidoras con tecnología HVDC VSC adyacentes a las Subestaciones Cucapah, en Mexicali, Baja California y la Subestación Seri, en Hermosillo y una línea de transmisión en corriente directa que operará en forma bipolar con una capacidad de 1,500 MW, en un nivel de tensión de ± 500 kV, con una longitud estimada de 700 km (1,400 km-c). La inversión estimada es de 1,109 millones de dólares.

De conformidad con lo establecido en las Bases de la Licitación, el licitante ganador será aquel que presente el menor Pago Contractual Anual Constante, y cuya Propuesta Técnica haya cumplido con los requisitos y requerimientos establecidos en las Bases.

De acuerdo con el calendario de la licitación LT/SENER-01-2018, se recibirán propuestas el 22 de agosto de 2018 y el fallo se realizará el 14 de septiembre de 2018.

Planes de inclusión masiva de fuentes renovables

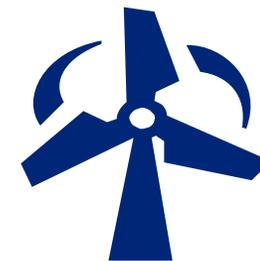
En el PAM RNT
2018 – 2032 el
CENACE
propuso una
“Macro Red”



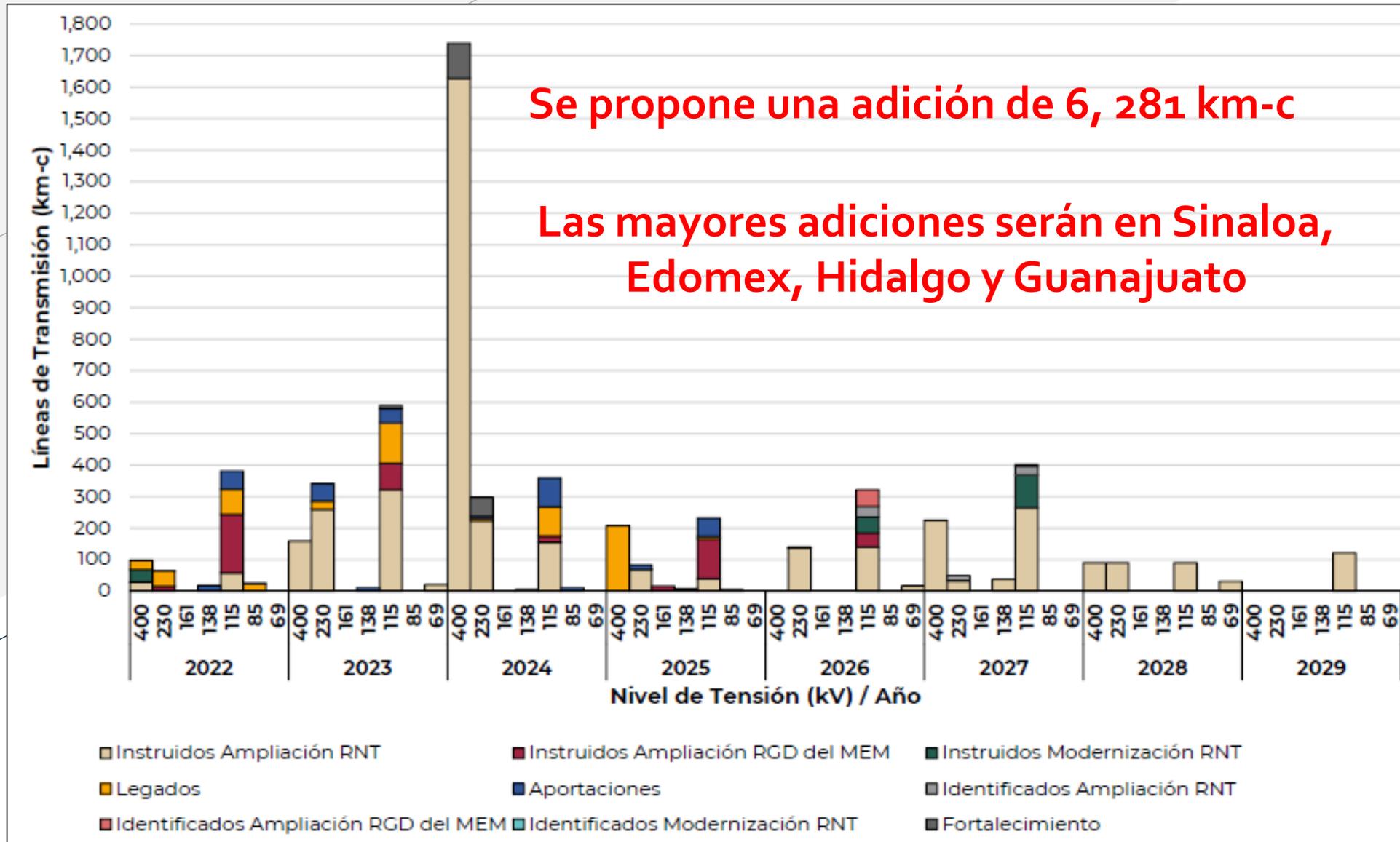
La Macro Red

Con la Macro Red propuesta, se permitirá la incorporación de alrededor de 8,575 MW de capacidad instalada de Centrales Eléctricas Renovables y 10,627 MW de capacidad neta en Centrales Eléctricas Firmes, con lo cual se logrará satisfacer los requerimientos de energía limpia del país, reducir los costos de producción, conexión sin limitación de nuevos centros de carga y satisfacer el crecimiento de la demanda y consumo del país.

El proceso de la Ampliación y Modernización de la RNT y las RGD del Mercado Eléctrico Mayorista, contempla la realización de estudios eléctricos en diferentes escenarios de demandas del SEN y horizonte de 15 años.

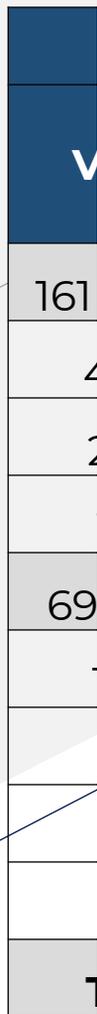


Metas físicas de los proyectos considerados en 2022



Crecimiento observado en la RNT (km-c)

STANDARDIZATION: JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATION
Copyright © 2022 The Society for Standards Professionals
JSRI 2022;1(3):1–9



RESEARCH ARTICLES

Mexico's Electric System: Challenges and Opportunities

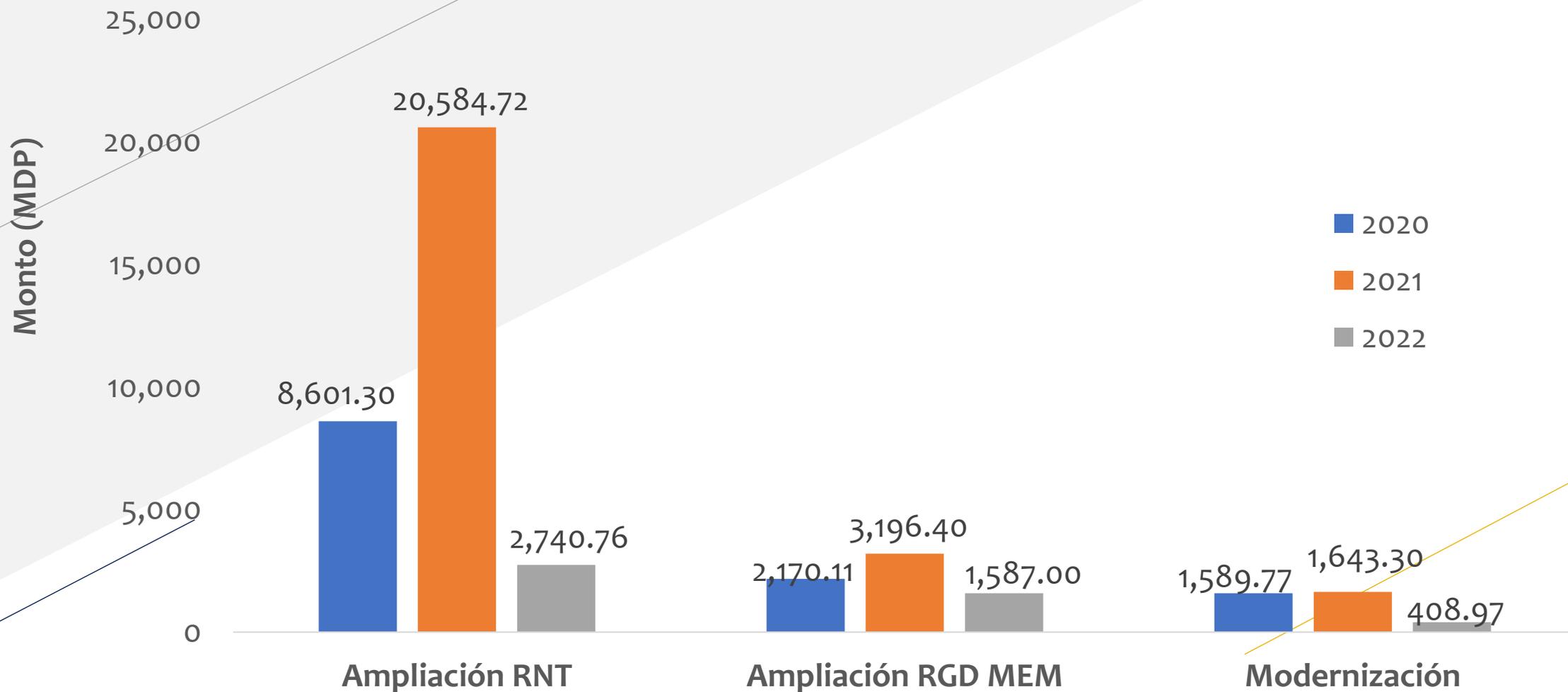
By Héctor Beltrán

Mexico, like many countries around the world, has committed to ambitious targets in terms of sustainability. Because of those commitments, the Mexican power system must integrate a large share of clean energy sources (mainly renewable and nuclear) into its power generation portfolio as the main component of an energy transition. In 2020, the Mexican government endorsed specific targets for the short and long term. Among those targets, it was established that Mexico would generate 35% of its electricity from clean energy sources by 2024. But according to most recent National Electric System Development Program 2022 – 2036 (known as PRODESEN by its

Key Words: Mexican Power System, Energy Transition, Regulatory Uncertainty, Technical Pain points, Ancillary Services, Complimentary Technologies.

Author Affiliations: CIGRE México / National Autonomous University of Mexico.

Montos correspondientes a los ejercicios de Planeación 2020, 2021 y 2022 de la RNT y las RGD del MEM por categoría



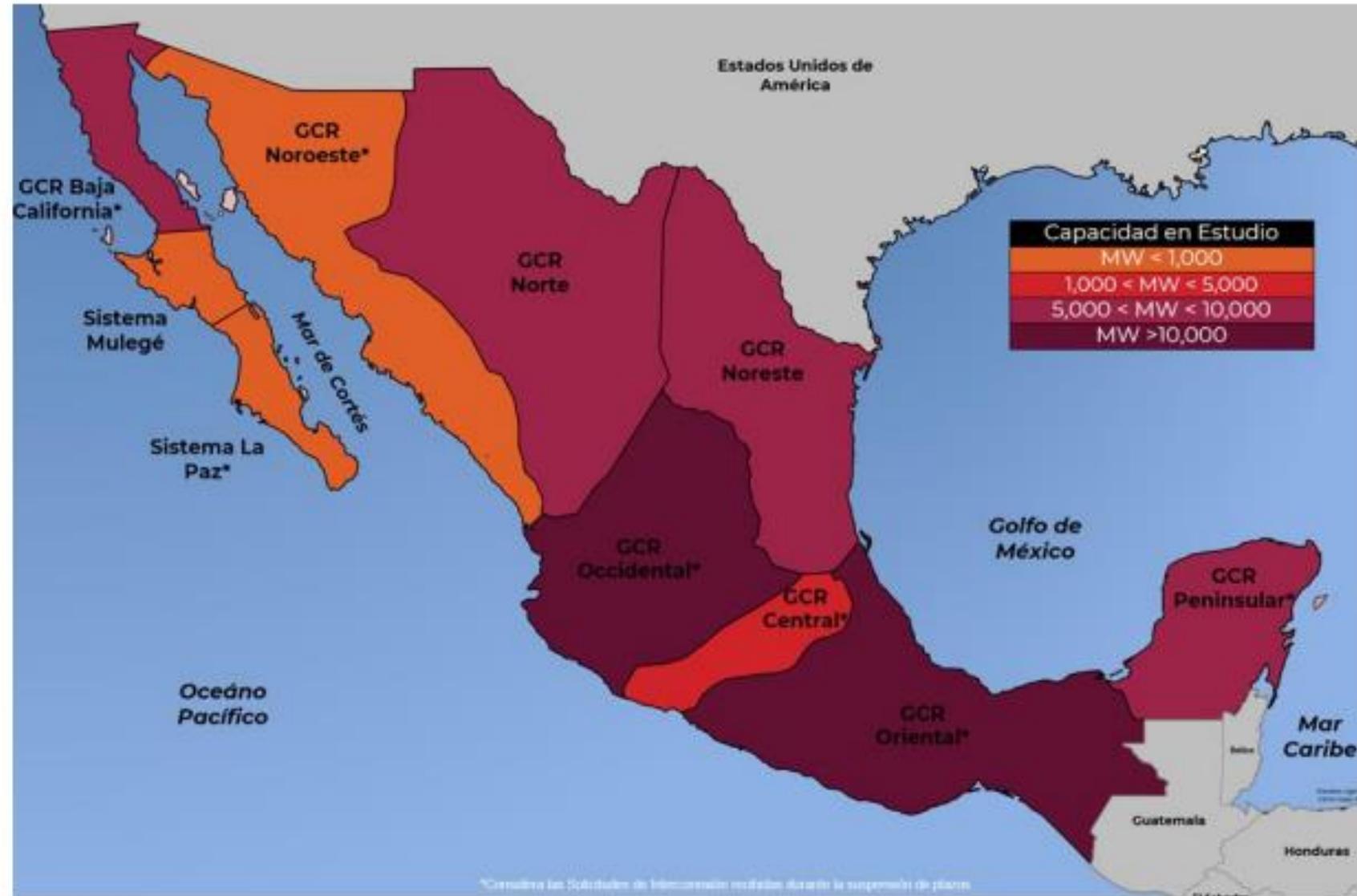
Referencias:

PAMRNT 2020 - 2034 (Año 2020), PAMRNT 2021 - 2035 (Año 2021), PAMRNT 2022 - 2036 (Año 2022)

https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx

Interconexión de Centrales Eléctricas

Figura 4.18.3. Capacidad de generación en etapa de estudio por GCR



Colas de interconexión de Centrales Eléctricas

Solicitudes de Conexión e Interconexión

Año: 2022 ▾

Solicitudes de Conexión (mensuales)

Nombre	Reporte	Fecha de actualización
Colas Conexion al 2022 02Feb28 v2022-03-10		12/04/2022
Colas Conexion al 2022 03Mar31 v2022-04-10		12/04/2022
Colas Conexion al 2022 01Ene31 v2022-02-10		10/02/2022

Solicitudes de Interconexión (mensuales)

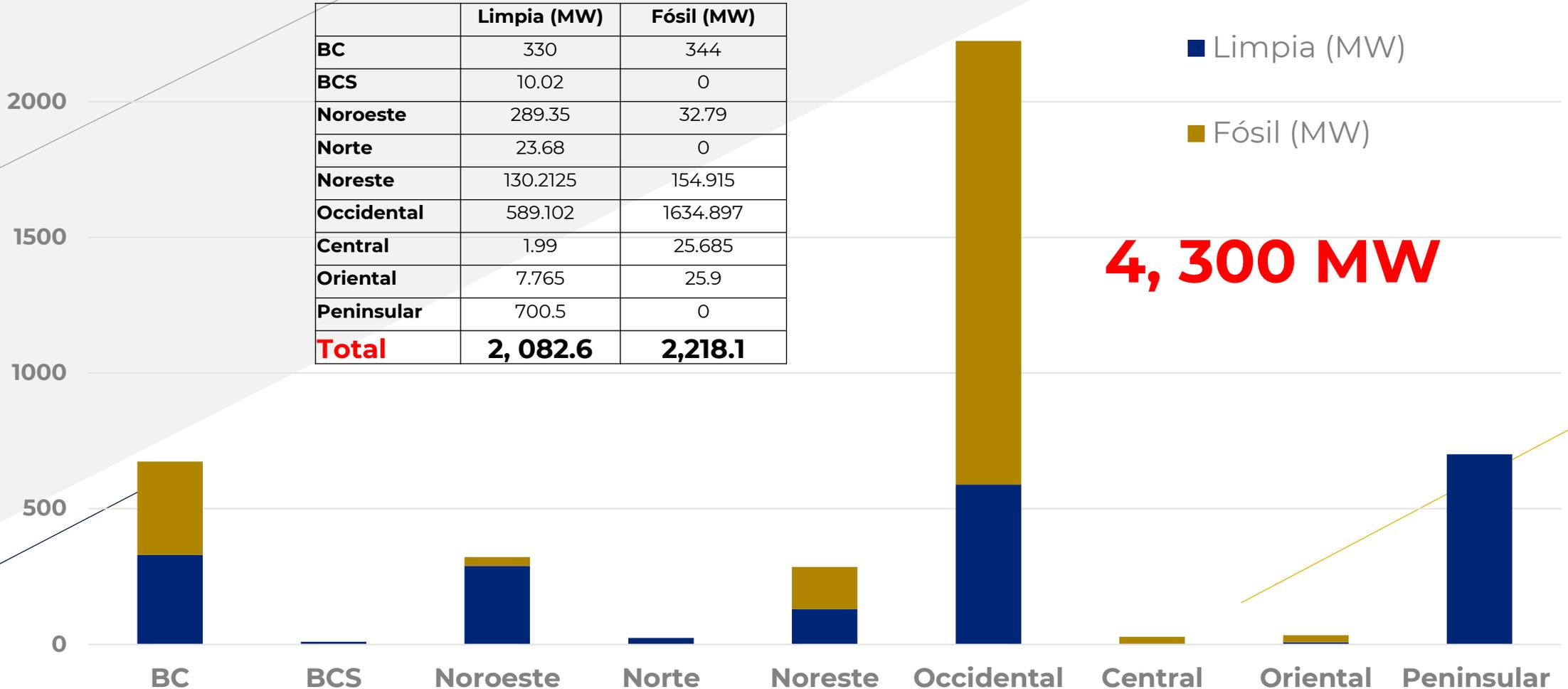
Nombre	Reporte	Fecha de actualización
Colas Interconexion al 2022 03Mar31 v2022-04-10		12/04/2022
Colas Interconexion al 2022 02Feb28 v2022-03-10		12/04/2022
Colas Interconexion al 2022 01Ene31 v2022-02-10		10/02/2022



<https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/SolicitudConexion.aspx>

Capacidad pendiente de aprobación de permiso CRE (2023)

2500 Capacidad MW

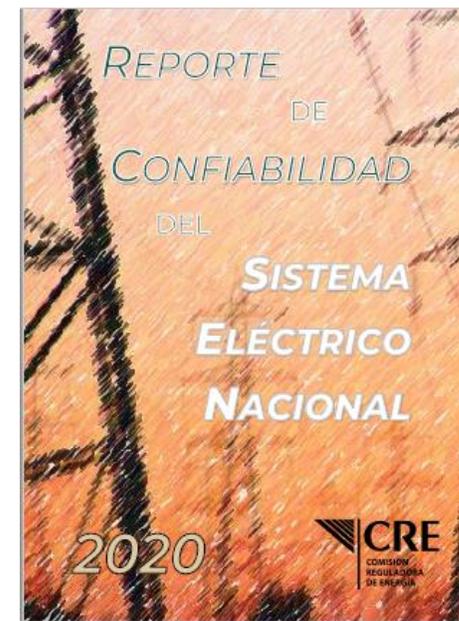
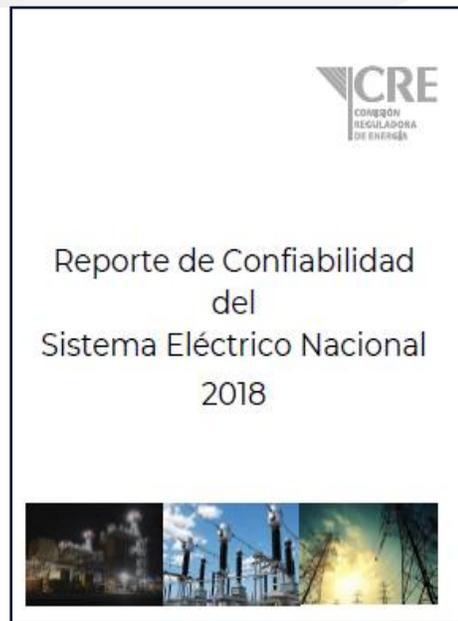
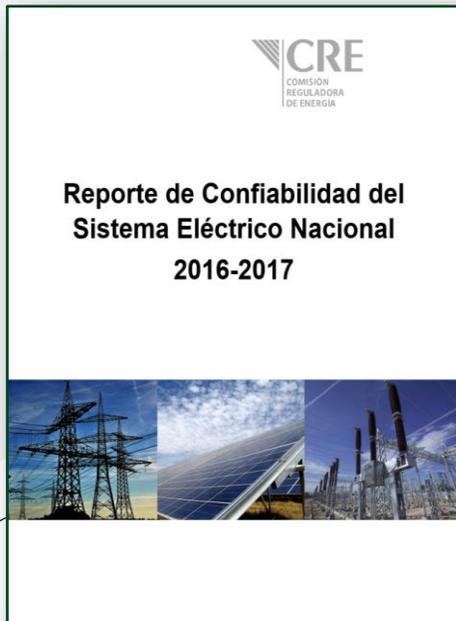


Operación

El Reporte de Confiabilidad del SEN

Con el análisis integral de los Reportes de Confiabilidad se puede crear un diagnóstico de la evolución de la Confiabilidad en el Sistema Eléctrico Nacional. Encontraremos que los retos que se identificaban hace años siguen mostrando áreas de oportunidad para resolverlos, principalmente las relacionados con la ampliación y modernización de la red eléctrica (RNT + RGD).

“Lo que no se mide no se puede mejorar”



Estructura del Reporte de Confiabilidad del SEN (2021)

Desempeño del SEN

- Operación
- Disturbios
- SBCA



Red Nacional de Transmisión

- Disponibilidad elementos RNT (SAIDI, SAIFI, CAIDI)
- Energía no suministrada
- Saturación y sobrecargas



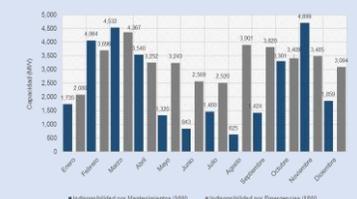
Redes Generales de Distribución

- Indicadores de servicio (SAIDI, SAIFI, CAIDI)
- Compensación potencia reactiva
- Variaciones de tensión



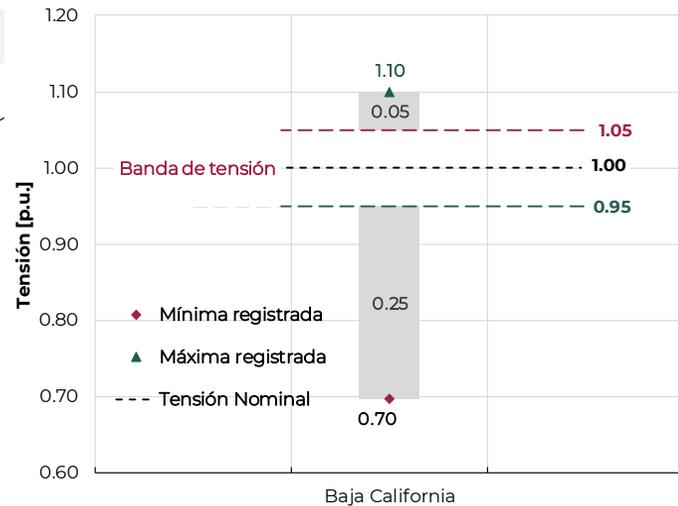
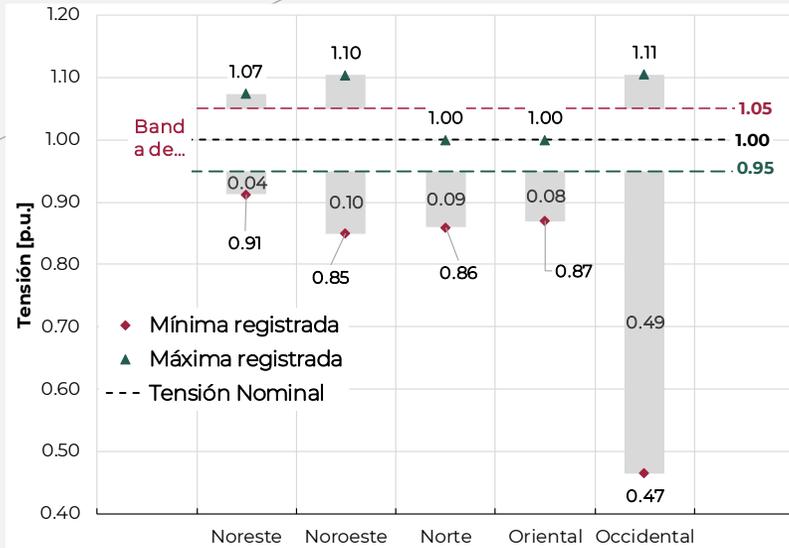
Conclusiones

- Retos pendientes
- Seguridad de Suministro
- Disponibilidad de elementos



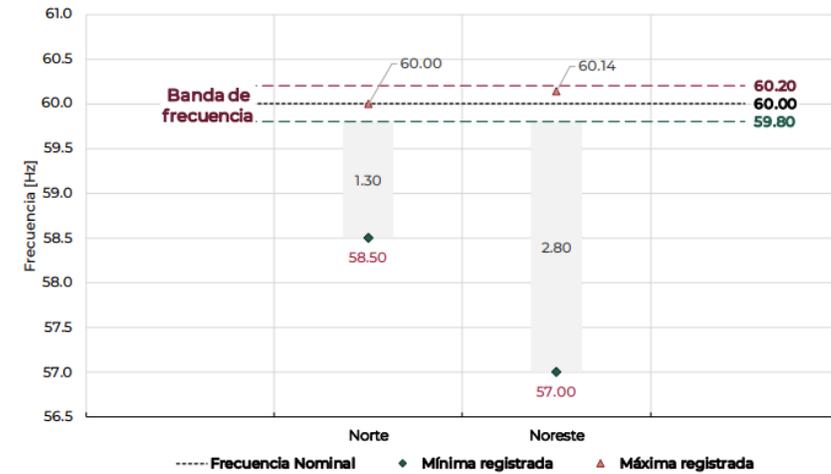
Desempeño del SEN – Estados Operativos

Tensión (p.u.)

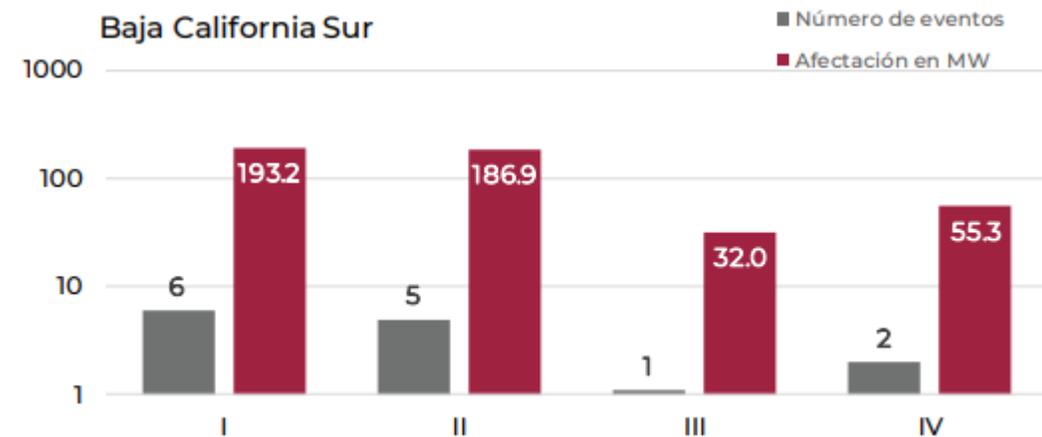


Frecuencia (Hz)

Figura 6. Valores de frecuencia máxima y mínima de las GCR del SIN con desviación referida a la banda de frecuencia permitida en 2021.



Baja California Sur



Desempeño del SEN – Estados Operativos

- De acuerdo con la CRE, durante el año 2021 el SEN registró un total de 2, 293 Estados Operativos distintos al Normal. *¿Esto es bueno o malo?*
- El RC determina que dentro del periodo 2017 – 2021 tanto los Estados Operativos de Alerta y Emergencia registran una tendencia de crecimiento anual de 17.1% y 29.3% respectivamente. *"Cada vez hay más alertas y más emergencias operativamente hablando"*.

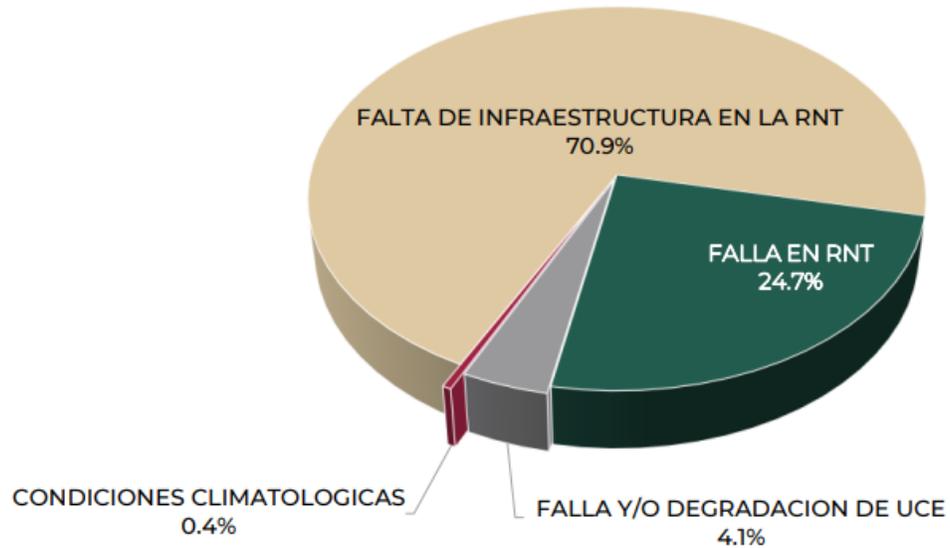
Tabla 9. Estados Operativos de Alerta y Emergencia en el SEN, 2016-2021.

Estado Operativo	2016 ¹	2017	2018	2019	2020	2021	Δ 20-21	Participación 2021	TMCA ² 17-21
de Alerta	228	1,156	1,404	1,823	1,808	2,170	20.0%	94.6%	17.1%
de Emergencia	35	44	77	108	51	123	141.2%	5.4%	29.3%
Total	263	1200	1481	1931	1859	2293	23.3%	100.0%	17.6%

Desempeño del SEN – Estados Operativos

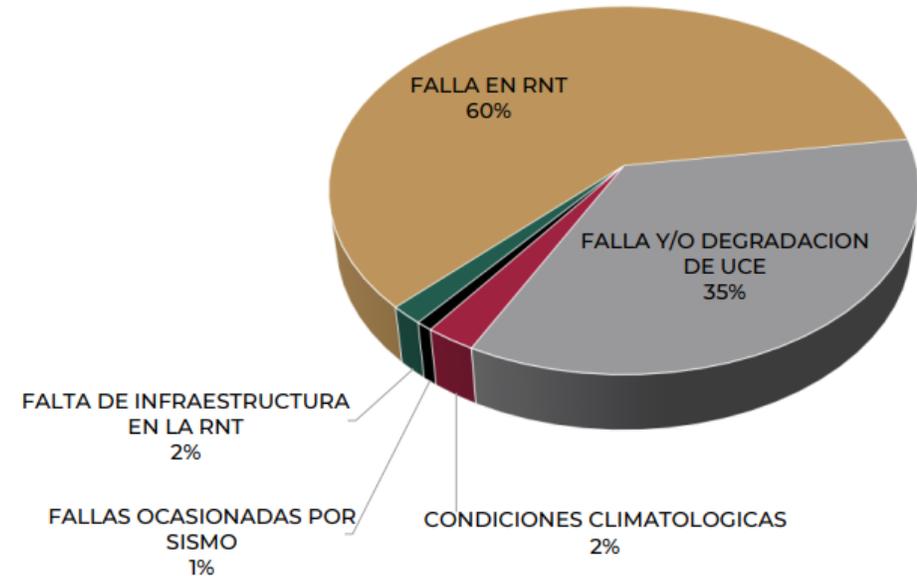
Causas de los Estados Operativos de Alerta

Figura 16. Principales causas de los Estados Operativos de Alerta (EOA) en el SEN, 2021. Participación porcentual.



Causas de los Estados Operativos de Emergencia

Figura 17. Principales causas de los Estados Operativos de Emergencia (EOE) en el SEN, 2021. Participación porcentual.

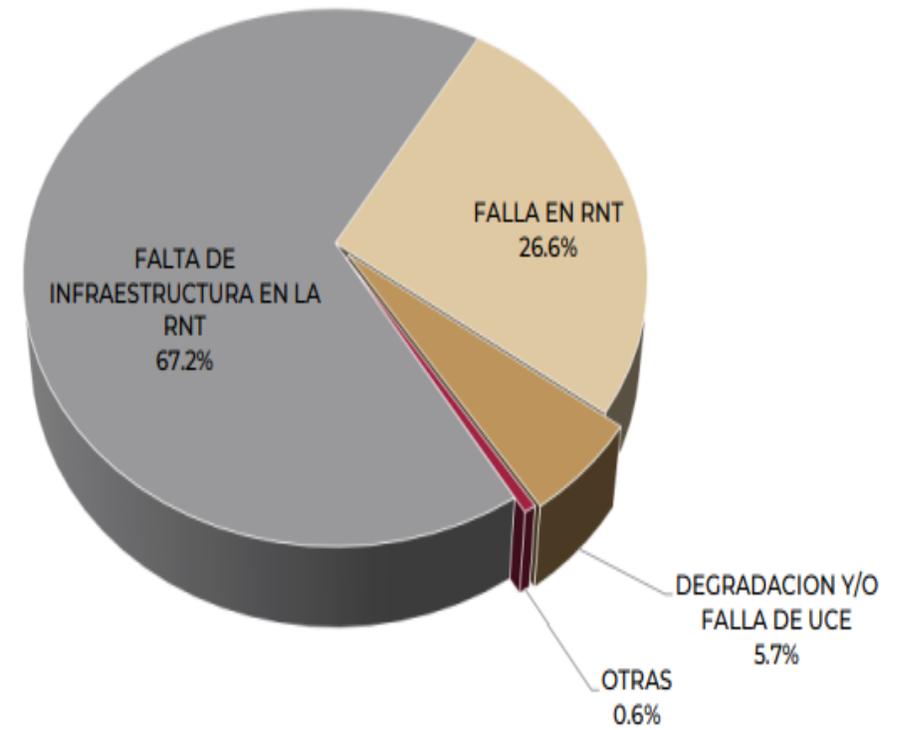


Desempeño del SEN – Estados Operativos

De manera general, las causas de los estados operativos diferentes al normal en el SEN fueron la falta de infraestructura, las fallas en la RNT, la degradación de UCE y las fallas de UCE; en menor medida se reportaron condiciones climatológicas adversas y esta vez un EOE por sismo, por lo que ambas causas sólo representaron el 0.6% del total. La Figura 18 muestra, de manera general, las causas de todos los estados operativos diferentes al normal en el SEN en 2021, donde puede apreciarse que los EOA al representar más del 94% del total refleja la proporción de sus causas sobre el resto de los eventos.

Mediante proyectos de infraestructura identificados por el CENACE e instruidos por SENER, se amplía y moderniza al SEN con la finalidad de disminuir la cantidad de EOA y EOE, objetivo que será visible una vez implementados. En cuanto a los casos fortuitos o de fuerza mayor, siempre habrá posibilidad de eventos que impliquen activar esquemas remediales con la finalidad de salvaguardar el sistema de afectaciones mayores.

Figura 18. Principales causas de los estados operativos diferentes al normal (EOA y EOE) del SEN, 2021. Participación porcentual.

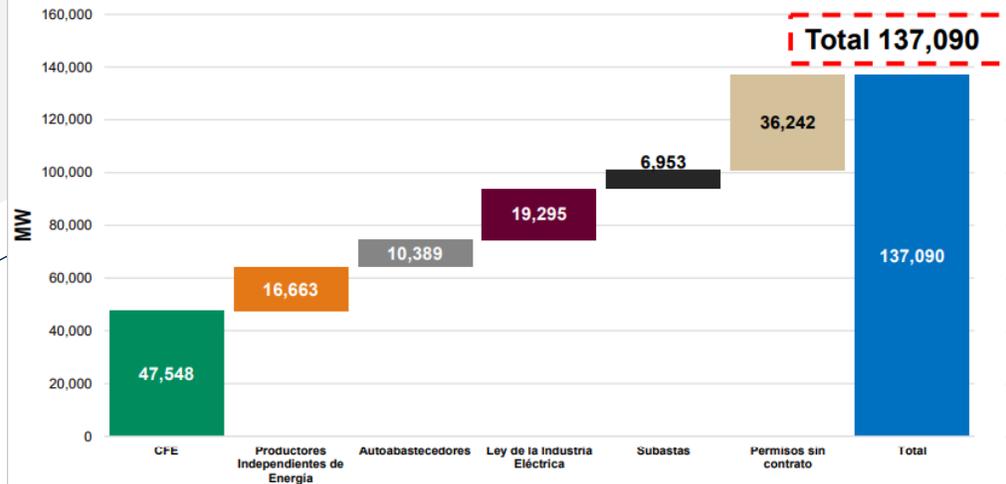


Desempeño del SEN – Capacidad no disponible

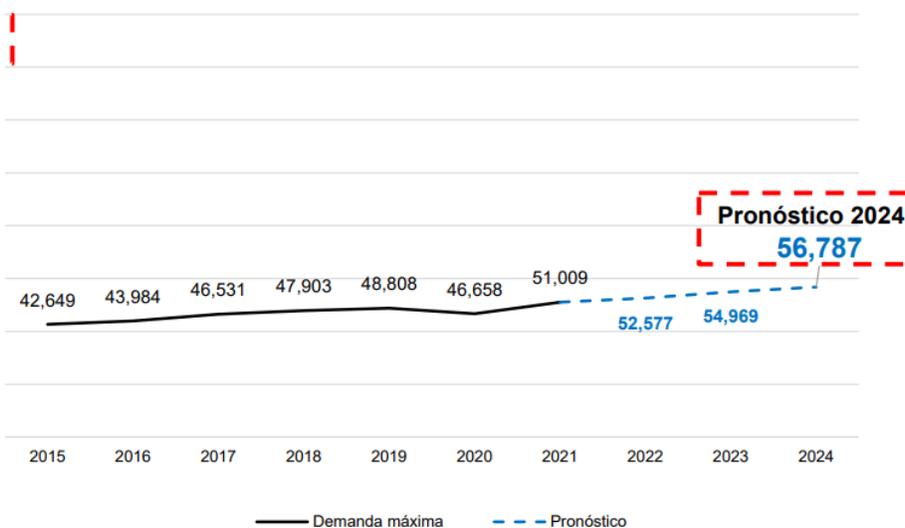
Mantener la suficiencia de recursos ("*resource adequacy*") en especial los relacionados con la generación se mantiene como uno de los principales retos en la operación del SEN. Es imperativo diferenciar entre distintos tipos de capacidad: solicitada, permitida, instalada, disponible y despachada.

- Debido a los permisos que ha otorgado la CRE debido a la Reforma del 2013, **se tiene una capacidad total estimada de 100, 848 MW para el año 2024** cuando el **pronóstico de la demanda para el mismo año es de 56,787 MW**.
- **Adicional se tienen 36,242 MW de permisos pendientes** para la aprobación por la CRE **alcanzando 137,090 MW**.

Capacidad Instalada (MW) en el SEN al 2024



Evolución de la demanda máxima del SEN 2015-2020 y Pronóstico 2022 - 2024



Desempeño del SEN – Capacidad no disponible

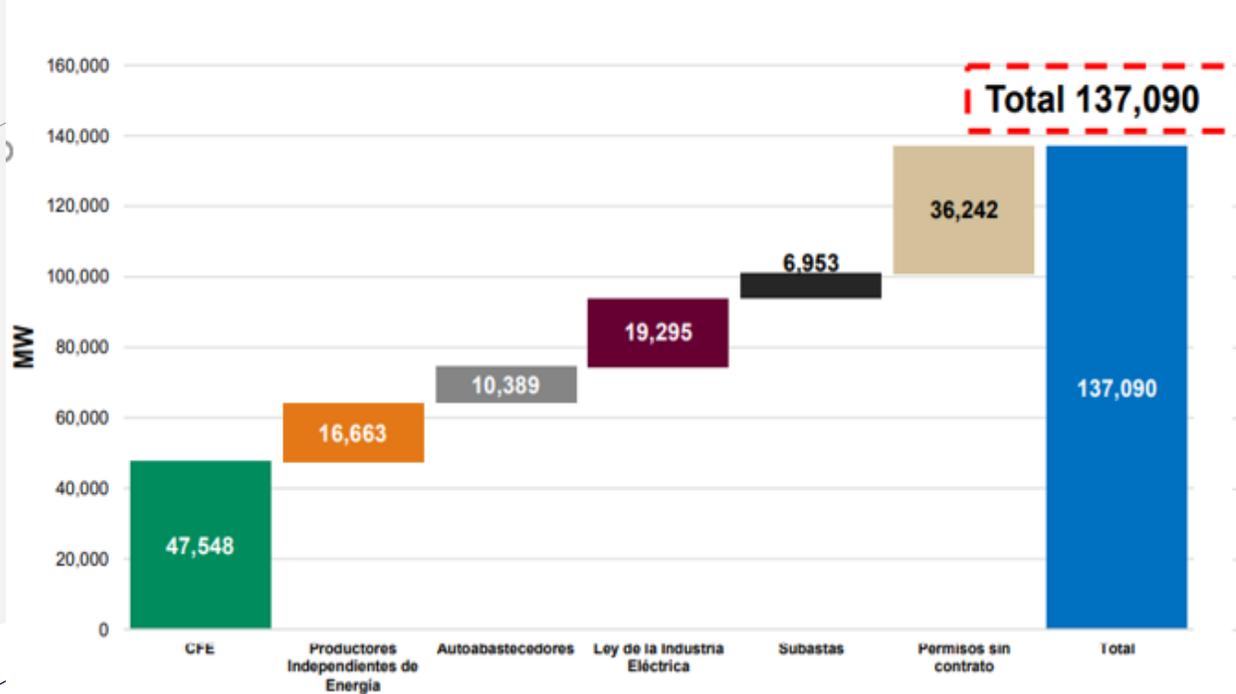
- Contar con un permiso de generación por parte de la CRE no se traduce en certeza para desarrollar un proyecto. Hay que distinguir entre capacidad PERMISIONADA (137, 090 MW), INSTALADA (86, 153*) y DISPONIBLE (48, 626.9 MW**) para una DEMANDA FIRME de 40, 501.7 MW**.
- Para que pueda generar energía, un proyecto primero debe de realizar un proceso de interconexión con el CENACE en donde le definen infraestructura necesaria para su entrada. Si no se construye esa infraestructura, el proyecto NO generará energía.
- Como caso de discusión se puede hablar de la Península de Baja California en donde cada verano se contrata potencia en condiciones de emergencia.

*Fuente: PRODESEN, SENER 2022

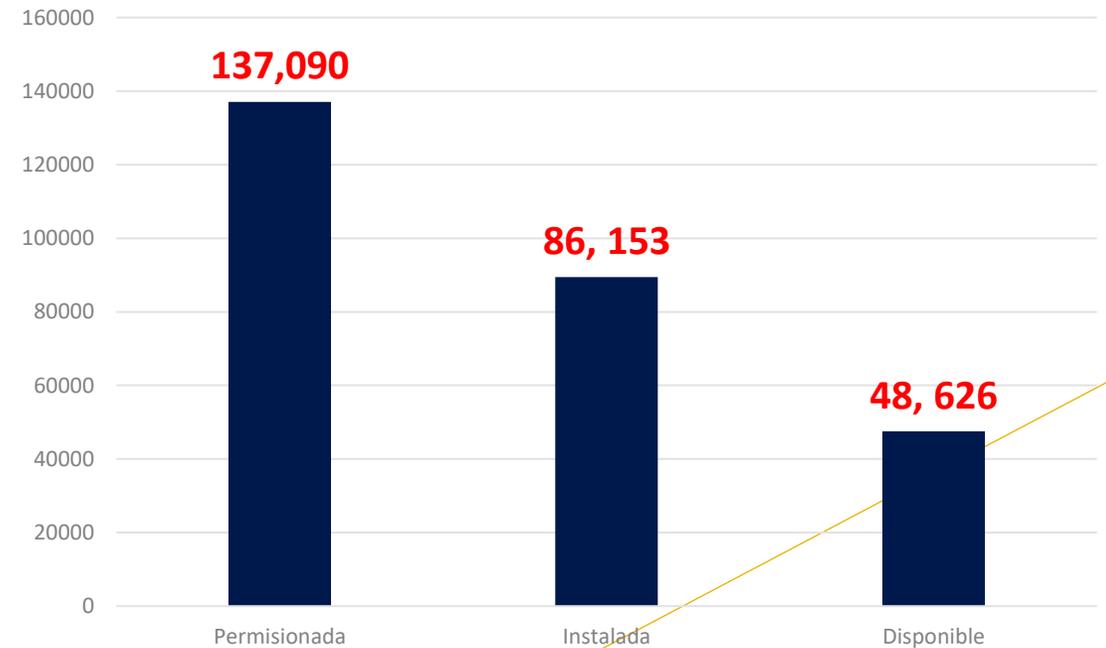
** Fuente: Reporte de Confiabilidad de la CRE 2021

Desempeño del SEN – Capacidad no disponible

Capacidad Instalada (MW) en el SEN al 2024

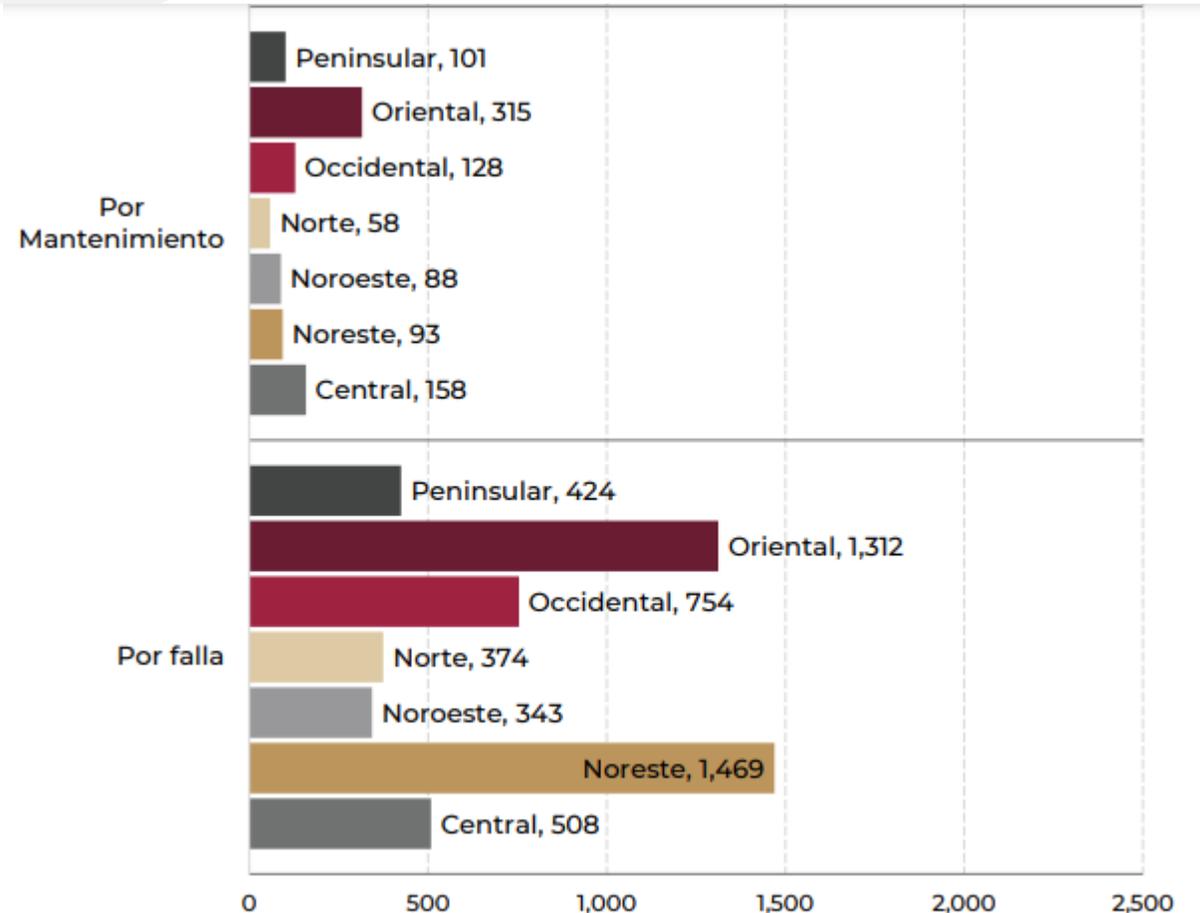
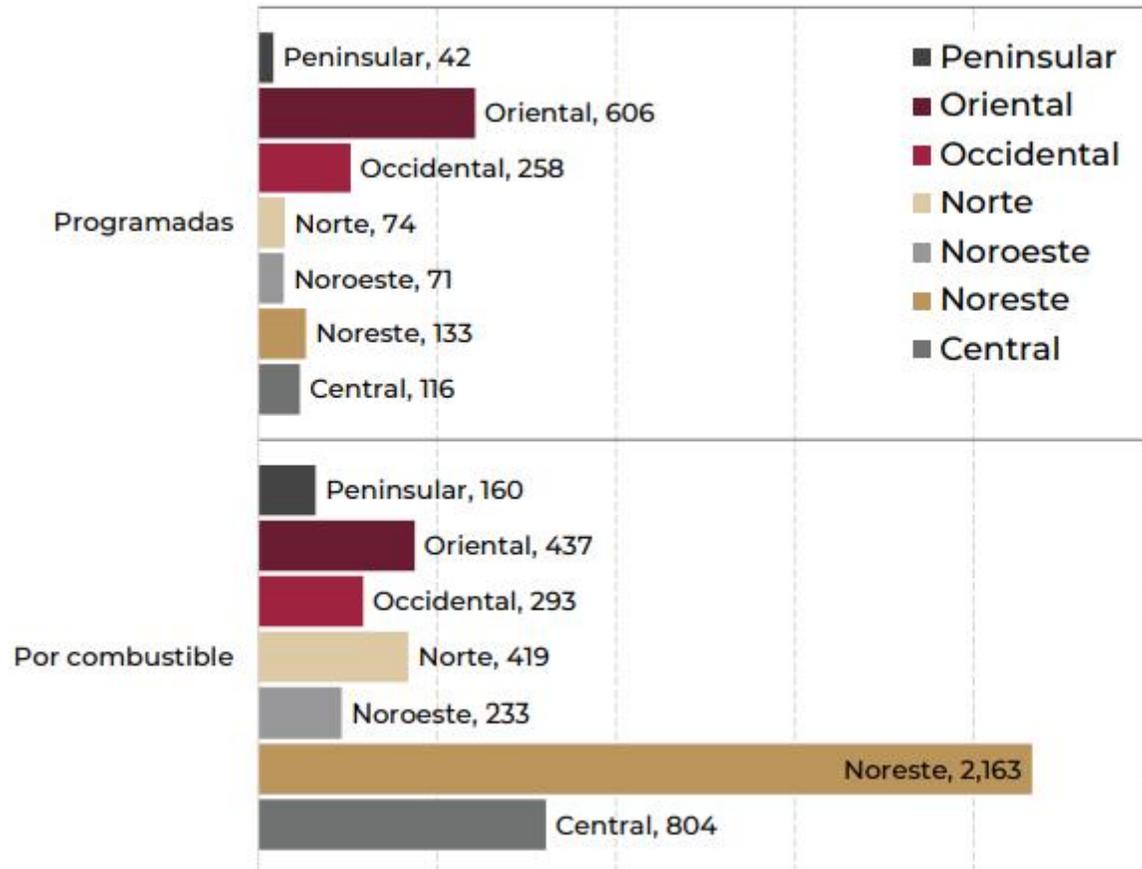


Capacidad (MW)



Desempeño del SEN – Capacidad no disponible

De acuerdo con el RC las salidas de las Unidades de Central Eléctrica tuvieron diversas causas:



Desempeño del SEN – Capacidad no disponible

Las restricciones de energía eléctrica tuvieron sus causas principalmente por la falta de combustibles (carbón, combustóleo y gas natural), así como también por las restricciones de las centrales hidroeléctricas por la administración de sus embalses:

Tabla 12. Generación indisponible por falta de combustibles en el SEN y SIN por GCR, 2021. [GWh]

GCR	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS	TOTAL
Central	8,188.53	6,750.83	210.63	15,149.99
Noreste	3,308.63	-	6,307.56	9,616.19
Noroeste	-	-	365.88	365.88
Norte	-	-	610.45	610.45
Occidental	-	-	189.03	189.03
Oriental	-	-	876.32	876.32
Peninsular	-	0.35	515.63	515.98
SIN	11,497.16	6,751.18	9,075.51	27,323.85
Baja California	-	-	42.54	42.54
Baja California Sur	-	-	-	-
Mulegé	-	-	-	-
SEN	11,497.16	6,751.18	9,118.05	27,366.39

Tabla 13. Generación indisponible por degradación y administración de embalses en el SEN y SIN por GCR, 2021. [GWh]

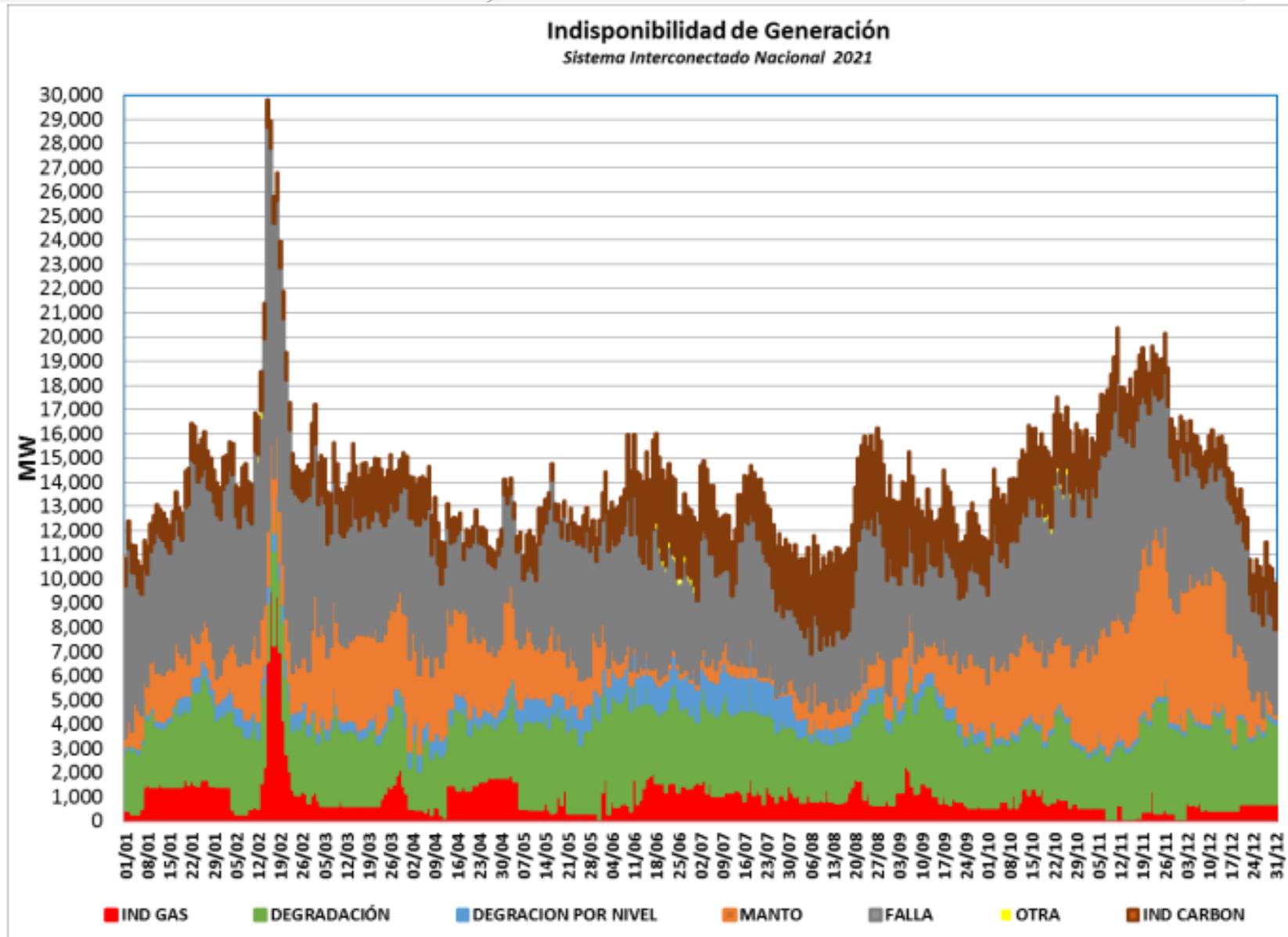
GCR	DEGRADACIÓN ¹	EMBALSE ²	TOTAL
Central	5,028.89	930.32	5,959.22
Noreste	8,417.51	-	8,417.51
Noroeste	1,721.39	1,376.98	3,098.37
Norte	1,548.47	-	1,548.47
Occidental	7,569.79	1,102.98	8,672.78
Oriental	3,288.32	1,482.24	4,770.56
Peninsular	1,617.66	-	1,617.66
SIN	29,192.06	4,892.53	34,084.58
Baja California	825.04	-	825.04
Baja California Sur	478.92	-	478.92
Mulegé	78.77	-	78.77
SEN	30,574.79	4,892.53	35,467.31

La generación indisponible total fue de 62.8 TWh (19% de la generación total)



9,000 MW de Ciclos Combinados (fp ≈ 0.8) permanentemente apagados

Indisponibilidad de Unidades



Indisponibilidad de Unidades

Comisión Reguladora de Energía > Documentos

Publicaciones Recientes

2022-11-23

Actas de las Sesiones del Órgano de Gobierno 2022

Reportes sobre el desempeño y la evaluación del Mercado Eléctrico

Documentos

Reporte Anual 2020 Del Monitor Independiente Del Mercado



Reporte Anual 2019 Del Monitor Independiente Del Mercado



Reporte Anual 2018 Del Monitor Independiente Del Mercado

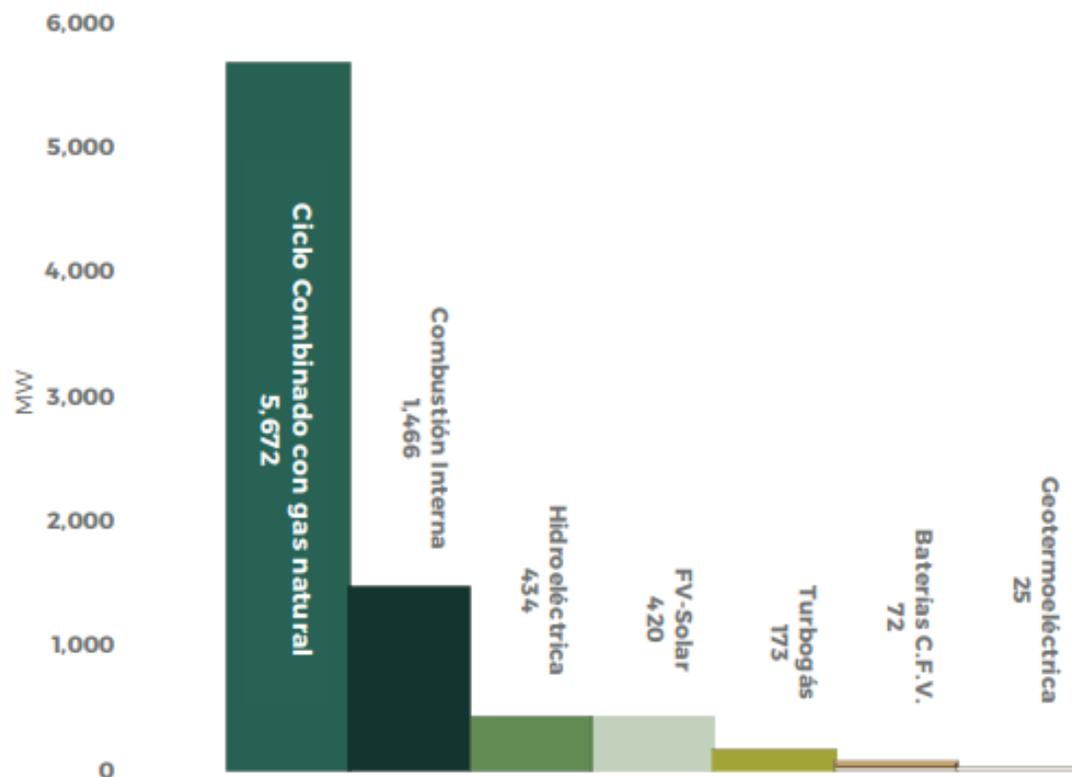


Reporte Anual del Mercado Eléctrico Mayorista 2020



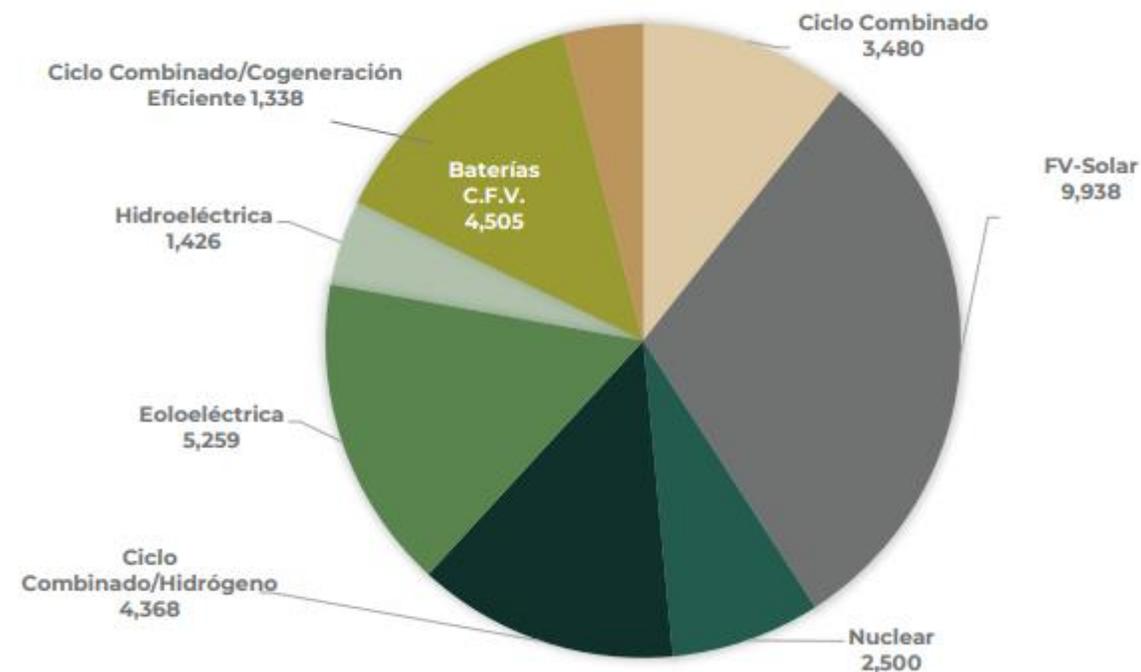
Penetración de fuentes renovables (PIIRCE)

FIGURA 7.1 CAPACIDAD NETA EN MW, ADICIONES DE CAPACIDAD DE 2022 A 2025 DE PROYECTOS ESTRATÉGICOS DE INFRAESTRUCTURA



FUENTE: SENER con información de CENACE y CFE

FIGURA 7.2 ADICIONES DE CAPACIDAD EN MW DE 2026 A 2036 DE PROYECTOS ESTRATÉGICOS



FUENTE: SENER con información de CENACE y CFE

Fuente: PRODESEN 2022 - 2036

Penetración de fuentes renovables

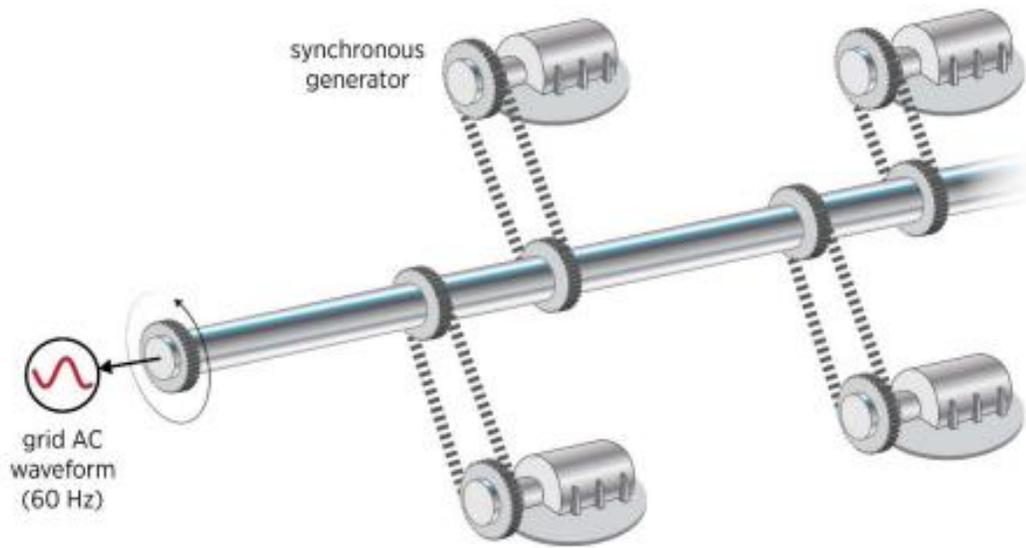
La penetración de las fuentes renovables en los Sistemas Eléctrico de Potencia:

- Capacidad instalada y % con respecto al total (MW)
- Energía generada en un año y % con respecto al total (MWh)*
- Energía aportada durante las horas de máxima demanda (MWh @ máxima demanda)
- Energía aportada durante las horas de mínima reserva (MWh @ mínima reserva)

Asimismo, la creciente integración de fuentes renovables variables plantea retos a los Sistemas Eléctricos en diversos frentes. Es necesario hablar de aspectos como **respaldo** e **inercia**.

Penetración de fuentes renovables

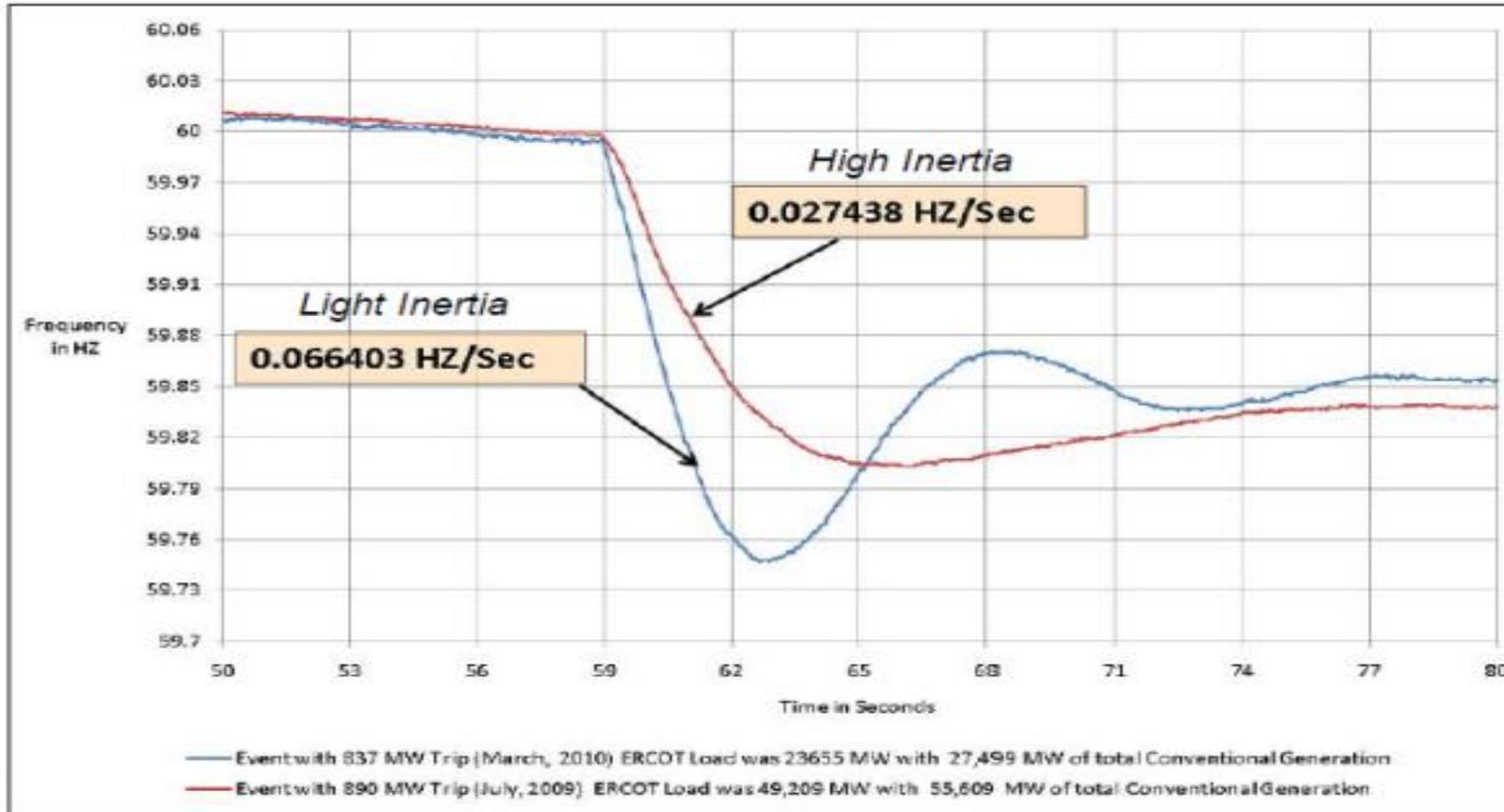
La **inercia** en un Sistema Eléctrico de Potencia se refiere a la energía cinética almacenada en las máquinas rotatorias (generadores). Esta inercia es el resultado de los generadores conectados a través de fuerzas electromagnéticas (representadas por las cadenas en la Figura):



La inercia resiste los cambios en la frecuencia del sistema que ocurre cuando se presenta un desbalance entre la generación y la demanda de energía.

Penetración de fuentes renovables

Figure 3: Inertial Response Sensitivity²⁰



Conforme crece la integración de fuentes de generación cuya interconexión se realiza de manera asíncrona (i.e. electrónica de potencia) se disminuye la cantidad de inercia en el Sistema.

Los sistemas de almacenamiento son aliados



Los sistemas de almacenamiento son una herramienta que puede ayudar a que la integración de las fuentes renovables variables no vaya en detrimento de la confiabilidad.

Los sistemas de almacenamiento son aliados

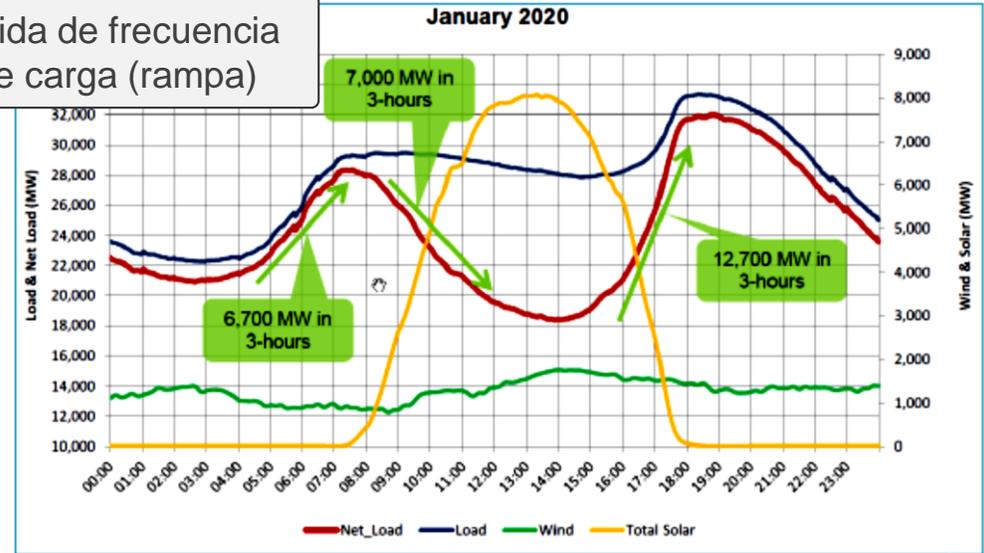
Eliminar las barreras o inconsistencias en las Reglas del mercado.

Energía y Potencia

Nuevos Servicios Conexos

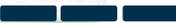
-  Inercia
-  Respuesta rápida de frecuencia
-  Seguimiento de carga (rampa)

Identificar nuevas necesidades del SEN



Servicios Conexos del MEM:

Regulación secundaria y Reservas Operativas y Suplementarias

Duración 
 Velocidad 
 Calidad 

Productos para T&D

Servicios Conexos no Incluidos en el MEM:
 emergencia y control de tensión

Desarrollar regulación en la materia (la CRE ya aprobó el Manual respectivo)

Desarrollar de la regulación en la materia

Mejorar condiciones de asignación y reconocimiento de costos

-  Reducción de congestión
-  Diferimiento de inversión
-  Mitigación de sobrecargas
-  Control de Tensión desde la RNT/RGDs

La mejora tecnológica en la electrónica de potencia

Research Roadmap on Grid-Forming Inverters




Yashen Lin,¹ Joseph H. Eto,² Brian B. Johnson,³ Jack D. Flicker,⁴ Robert H. Lasseter,⁵ Hugo N. Villegas Pico,⁶ Gab-Su Seo,⁷ Brian J. Pierre,⁴ and Abraham Ellis⁴

With editing and support from Hariharan Krishnaswami⁴, Jeremiah Miller⁴, and Guohui Yuan⁴

¹National Renewable Energy Laboratory
²Lawrence Berkeley National Laboratory
³University of Washington
⁴Sandia National Laboratories
⁵University of Wisconsin
⁶U.S. Department of Energy Solar Energy Technologies Office



Grid following → **Grid forming**

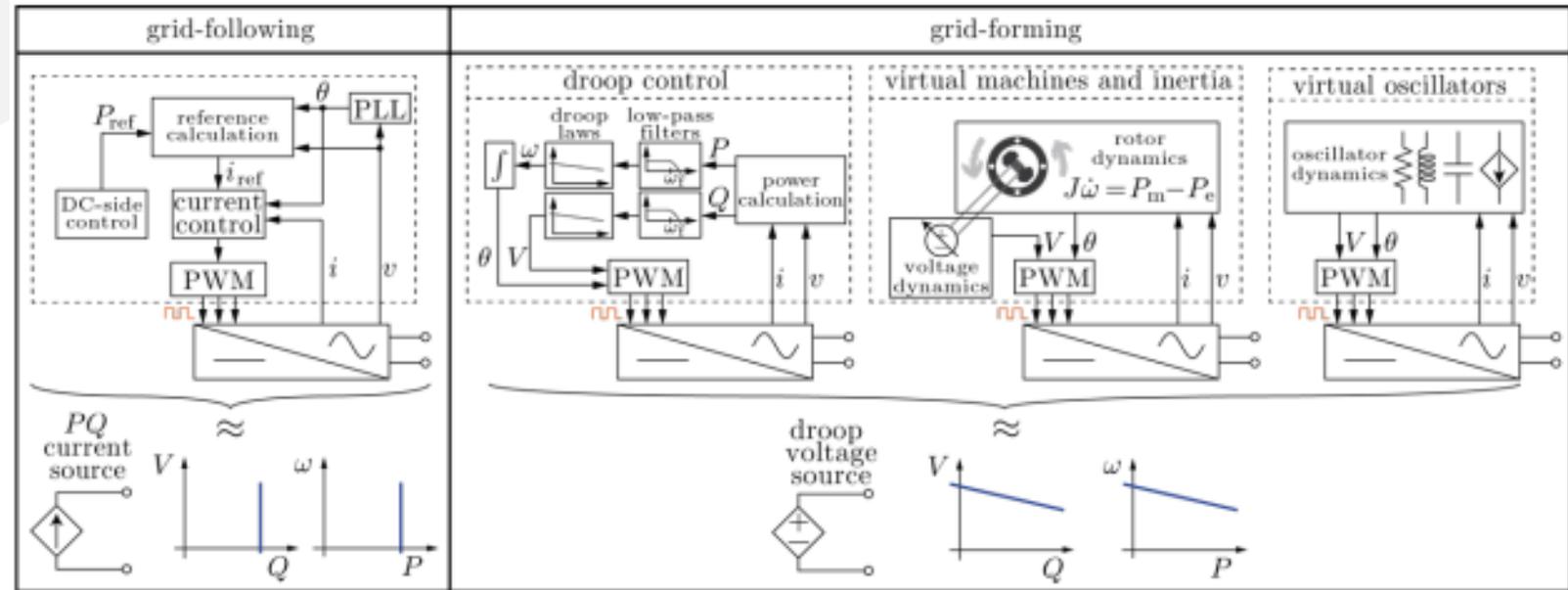


Figure 4. Functional diagrams of grid-following and grid-forming inverters. Grid-following inverters mimic current sources at their output terminals, whereas grid-forming inverters act like voltage sources whose output abides by droop laws.

La mejora tecnológica en la electrónica de potencia

Grid following → **Grid forming**



*Inverters provide the interface between the grid and energy sources like solar panels, wind turbines, and energy storage. When there is a large disturbance or outage on the grid, conventional inverters will shut off power to these energy sources and wait for a signal from the rest of the grid that the disturbance has settled and it is safe to restart—known as **“grid-following.”** As wind and solar account for increasing shares of the overall electricity supply, it is becoming impractical to depend on the rest of the grid to manage disturbances. **“Grid-forming”** inverters are an emerging technology that allows solar and other inverter-based energy sources to restart the grid independently.*

Conclusiones

- Un sistema confiable no es aquel en que no se presentan fallas o disturbios, sino es aquel que ante la ocurrencia de estos es capaz de mantener su integridad y continuar operando de manera segura.
- En términos de confiabilidad, lo más importante es contar con capacidad de generación DISPONIBLE. Los permisos de generación de la CRE no se traducen fácil, ni rápido, ni directamente en Unidades de Central Eléctrica entregando potencia activa a la red.
- El reto que sigue siendo prioridad resolver es la ampliación y modernización de la RNT y de las RGD. Planes van y vienen (oficios de instrucción también), pero la red eléctrica no logra crecer al ritmo que se necesita. **La CFE ha hecho un gran trabajo a lo largo de muchos años.**
- Se incrementó de manera notable el número de Estados Operativos distintos al Normal, en especial los de Emergencia. La falta de capacidad en la RNT y las fallas ocurridas en esta fueron la principal causa.

Conclusiones

- Propuestas para enfrentar los retos en Confiabilidad:
 - ✓ Incrementar la disponibilidad de las unidades
 - ✓ Materializar la planeación de la transmisión
 - ✓ Actualizar CdR (BESS + electrónica de potencia)
 - ✓ Servicios conexos adecuados (desempeño técnico + remuneración económica)
- La discusión sobre la Confiabilidad eléctrica en nuestro país no debe ser una discusión de buenos contra malos, convencionales contra renovables, privados contra públicos, liberales contra conservadores. **Necesitamos elevar el nivel de la discusión porque esta es primordialmente técnica (CFE, CENACE).**
- Uno puede estar a favor de la integración de ciertas tecnologías, el desarrollo de ciertas políticas, e incluso la implementación de distintos modelos de participación del Estado en el Sector Eléctrico. **Lo importante es no dejar de ser “pro confiabilidad”.**

Muchas gracias



[@HectBeltran](https://twitter.com/HectBeltran)