



**aee**

Asociación Empresarial Eólica

# **INFORME PAÍS**

## **México**

**Fecha de actualización: Septiembre 2016**



## CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO .....	3
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EÓLICA EN MÉXICO.....	6
2.1. El recurso eólico .....	6
2.2. Situación del mercado.....	7
2.3. Marco regulatorio .....	12
2.4. Resultados de la primera subasta a largo plazo en México 2016 .....	16
2.5. Resultados de la segunda subasta a largo plazo en México 2016 .....	19
2.6. El acceso y la conexión a la red.....	21
2.7. Los códigos de red.....	21
2.8. El impacto ambiental y social .....	30
3. LA CADENA DE SUMINISTRO.....	31
ANEXO: GLOSARIO.....	36

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

DEBILIDADES	AMENAZAS	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<p>Fuerte competencia interna del sector que impulsa los precios de venta de electricidad a la baja y puede comprometer la viabilidad de algunos proyectos.</p> <p>Entorno social sensible que afecta no sólo a los derechos sobre el terreno sino también a la operación y mantenimiento ulterior de los parques.</p>	<p>Fuerte competencia fotovoltaica, mayor en la primera que en la segunda subasta.</p> <p>Precio del shale-gas importado de los USA que puede hacer muy competitiva la generación con ciclos combinados.</p> <p>Final de los incentivos por estados que permitió en la primera subasta la aprobación de proyectos en el Yucatan y Baja California.</p> <p>Insuficiente infraestructura eléctrica y, por lo tanto, limitado acceso para nuevos proyectos.</p> <p>Códigos de red excesivamente exigentes, traslación de las normativas europeas sin consistencia con la situación del sistema eléctrico mexicano.</p>	<p>Abaratamiento progresivo de la tecnología.</p> <p>Las empresas españolas de fabricantes y promotores están trabajando ya en el país desde hace mucho tiempo.</p> <p>Hasta tres cuartas partes de la capacidad eólica instalada ha sido suministrada por promotores y fabricantes españoles.</p> <p>Desconocimiento de los servicios de justificación, regulación potencia/frecuencia y control de tensión, que puede ser una oportunidad para empresas con experiencia.</p>	<p>Crecimiento de la demanda ligado al constante crecimiento económico.</p> <p>Pérdida de interés económico de la extracción de petróleo por la bajada del precio del mismo y el agotamiento de algunos pozos.</p> <p>Reforma del sector eléctrico, separación de actividades de CFE e impulso de la entrada de inversiones privadas. Según la Ley de Transición Energética, 35% de la electricidad debe venir de fuentes de energías renovables para el año 2024, lo que supone atraer cerca de 14.000 millones de \$ para 9,5 MW eólicos para el año 2018.</p> <p>Posición dinámica por parte de las autoridades estatales para apoyar esta forma de generación.</p> <p>Elevado recurso eólico, no sólo en el Istmo de Tehuantepec.</p> <p>Sensibilidad ambiental de la población frente a otras formas de generación.</p>

Tabla 1. Análisis DAFO del mercado eólico en México

Según los datos de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) la potencia eólica instalada en el año 2015 ascendía a 3.073 MW, habiéndose instalado un total de 714 MW en el año 2015, un 37% más que en el año 2014.

Se observa una creciente entrada de Estados diferentes a Oaxaca, pues en el año 2013 estaban interconectados a la red alrededor de 2.000 MW, de los cuales el 89% correspondían a la Primera Temporada Abierta (TA) de este estado, Oaxaca. Durante el año 2014 se interconectaron alrededor de 400 MW, de los cuales, el 61% se ubican en el Istmo de Tehuantepec y cierran la TA-I de Oaxaca.

En cualquier caso, México tiene un excelente potencial de recurso eólico, se estima que su potencial es de unos 71 GW, este se encuentra principalmente en los estados de Oaxaca, Baja California, Tamaulipas y Veracruz.

Se espera que se mantenga la demanda de electricidad en el crecimiento anual actual, 5%, durante los próximos diez años. Al mismo tiempo, México tiene un objetivo de reducción de un 80% de su dependencia de combustibles fósiles.

AMDEE plantea como primer objetivo desarrollar, al menos, 12 GW eólicos para finales del 2022, en línea con la Ley de Transición Energética, lo que parece un objetivo demasiado optimista, por lo que se comenta a continuación.

En cualquier caso, el hito más importante ha sido la Reforma Energética, muy distinta a la española, que se ha orientado a dotar de una mayor competencia al sector de la electricidad al separar las actividades de CFE y establecer entidades independientes para la operación técnico/económica del sistema eléctrico.

La nueva regulación introduce la modalidad de subastas de precios de tres productos concretos: potencia, energía y Certificados de Energía Limpia (CEL). La primera subasta se ha centrado en estos últimos posibilitando una amplia respuesta de las energías renovables que, por lo general, necesitan equipos complementarios para poder ofertar potencia.

Los resultados muestran la fuerte y, en cierta medida, esperada competencia con la energía fotovoltaica que ha copado un 70% de las instalaciones ofertadas, a pesar de los altos factores de capacidad que pueden llegar al 35%-45% en función del estado. El bajo precio de la fotovoltaica deriva de la posición fuertemente competitiva de Enel Green Power, ya mostrada en otros mercados, pero también del hecho de que muchas ofertas han sido realizadas directamente por los fabricantes de los módulos.

Este podría ser también el modelo de desarrollo futuro de los parques eólicos en México como pone en evidencia la compra de 600 MW en desarrollo por parte de la empresa china de aerogeneradores Envision.

Tres cuartas partes de la capacidad eólica instalada ha sido suministrada por fabricantes españoles y Gamesa es el principal suministrador de aerogeneradores en México, aunque en el año 2015 fue superado por Acciona con unos 300 MW de potencia instalada del modelo AV116.0-3.0. Dado que México está en el NAFTA (North America Free Trade Agreement) lo que supone una disminución de los aranceles de un 15% de los productos importados de los países del Norte, lo que facilita la entrada de equipos desde Estados Unidos.

Por otro lado, los promotores/inversores pueden acogerse también a sistemas de amortización acelerada con la consecuente bajada de los impuestos en los primeros años de operación de las plantas.

## Recomendaciones

Mercado fuertemente competitivo y maduro, donde es importante establecer alianzas con empresas locales con proyectos en marcha, pues no existe mucho espacio para proyectos *green field*.

La segunda subasta, además de reducir los precios, ha supuesto un cierto equilibrio en cuanto a energía ofertada entre la eólica y la fotovoltaica, dándose la singularidad de que ambas han ofertado potencia. La oportunidad futura de proyectos híbridos reforzará precisamente la capacidad de ofertar potencia firme.

Hay oportunidades para empresas de mantenimiento, auditorías y mejoras en la producción de los parques eólicos. Sin embargo, la problemática social es un tema muy serio con casos de ocupación de oficinas o pagos no declarados, que encarece fuertemente los costes de mantenimiento, no tenidos muchas veces en cuenta a la hora de realizar las ofertas y los subsiguientes contratos.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EÓLICA EN MÉXICO<sup>1</sup>

### 2.1. El recurso eólico

México tiene diversas regiones con excelentes recursos de viento que se pueden aprovechar, destacando Oaxaca (Zona 1 de la figura).

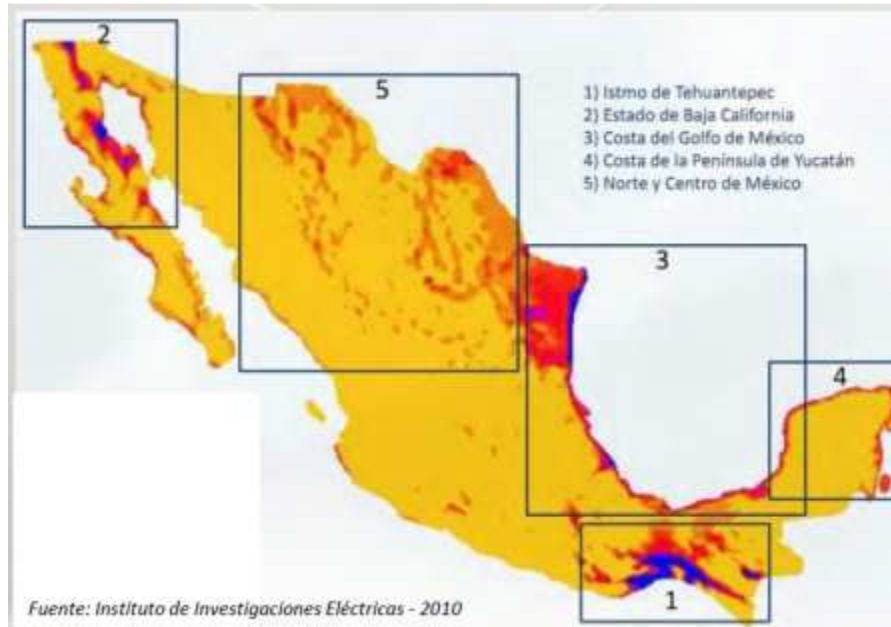


Figura 1. Mapa de recurso eólico en México

El recurso disponible en el Istmo de Tehuantepec es bien conocido pero el estado oaxaqueño no es el único con grandes recursos eólicos. Conforme a varios estudios de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable de Estados Unidos existen numerosas áreas de gran extensión con condiciones favorables para el desarrollo de parques eólicos con un alto nivel de capacidad y unas velocidades de viento anuales superiores a 8 m/s; en algunos casos incluso a 11 m/s.

En este sentido, otras zonas de especial interés son las siguientes: Baja California, la segunda región con condiciones más favorables, ya que, además de su potencial eólico, tiene una gran extensión geográfica y una baja densidad de población. Las mejores zonas están en las sierras de la Rumorosa, así como en el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra San Pedro Mártir. También, la zona del Golfo de México y del nordeste el país, donde destacan los Estados de Tamaulipas y Nuevo León, que están haciendo esfuerzos por atraer este tipo de inversión.

Por su parte, los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa y Yucatán tienen en conjunto un potencial de alrededor de 3.000-4.000 MW. En concreto, la Península

---

- <sup>1</sup> Este informe se ha realizado en gran parte con información del estudio **El mercado de la energía eólica en México**, realizado por Rafael Juan Martí, bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Mexico DF.

de Yucatán, el Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el Oriente de Cozumel son zonas con un potencial eólico muy interesante. Por último, en el altiplano norte y la región central también se encuentran zonas con importante potencial.

## 2.2. Situación del mercado

De acuerdo a las estadísticas de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), la potencia eólica instalada a finales del año 2015 ascendió a 3.073 MW que se ubican en los Estados que se presentan en la imagen siguiente junto con la senda de crecimiento.

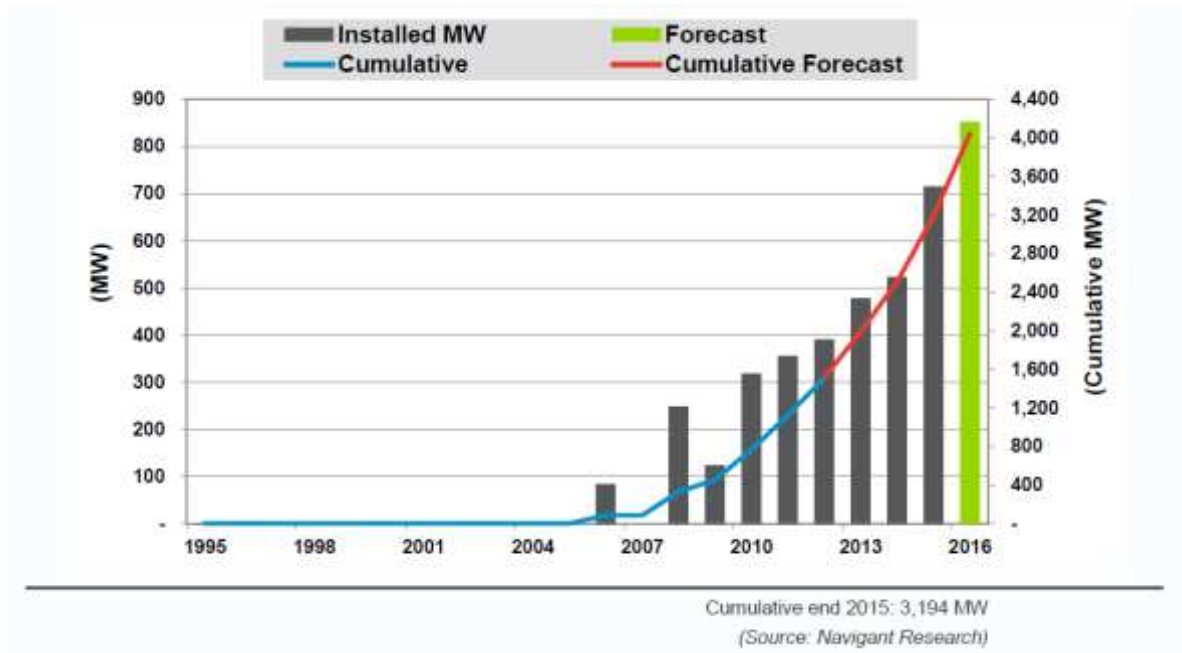


Figura 2. Evolución de la potencia (Fuente: Navigant)





Ilustración 1. Ubicación de los parques eólicos (Fuente: AMDEE)

La potencia instalada en cada uno de los Estados es la siguiente:

Estado	Potencia (MW)
Chiapas	28,8
Puebla	60
Tamaulipas	54
Nuevo León	148
San Luis Potosí	200
Jalisco	50,4
Baja California	165,7
Oaxaca	2.357

Tabla 2. Potencia eólica por Estado (Fuente: Elaboración propia a partir de AMDEE).

Las diferentes modalidades de ejecución de los proyectos eólicos en el pasado se refleja en la tabla siguiente:

Nombre	Estado	Capacidad (MW)	Desarrollador	Modalidad
BII Hioxdo	Oaxaca	234	Gas Natural Fenosa	Autoabastecimiento
BII Nee Stipa	Oaxaca	26,35	Iberdrola Renovables	Autoabastecimiento
BII Nee Stipa IV	Oaxaca	74	Iberdrola Renovables	Autoabastecimiento
Cancún-Yuumii	Quintana Roo	1,5	CFE	Pública
Cementos Apasco	Coahuila	1	Ecotel	Pequeño Productor
Dominca I	San Luis Potosí	100	Enel Green Power	Autoabastecimiento
El Porvenir	Tamaulipas	54	Grupo Ecos	Autoabastecimiento
Eléctrica del Valle México	Oaxaca	67,5	Privado	Autoabastecimiento
Energías Ambientales	Oaxaca	102	Privado	Autoabastecimiento
Eólica Artiaga	Chiapas	28,8	Grupo Salinas	Autoabastecimiento
Eólica del Istmo	Oaxaca	164	Privado	Autoabastecimiento
Eólica Santa Catalina	Nuevo León	22	Privado	Autoabastecimiento
Eólica Zopiloapan	Oaxaca	70	Gamesa / Enel Green	Autoabastecimiento



<b>Eólicas Mexicanas de Oaxaca</b>	Oaxaca	90	Privado	Autoabastecimiento
<b>Eurus I</b>	Oaxaca	38	Acciona Energía	Autoabastecimiento
<b>Eurus II</b>	Oaxaca	213	Acciona Energía	Autoabastecimiento
<b>Fuerza Eólica del Istmo I</b>	Oaxaca	50	Peñoles	PIE
<b>Fuerza Eólica del Istmo II</b>	Oaxaca	30	Peñoles	Autoabastecimiento
<b>Granja Sedena</b>	Oaxaca	15	Privado	Autoabastecimiento
<b>Guerrero Negro</b>	BJS	0.6	CFE	Pública
<b>Instituto de Energía Eléctrica</b>	Oaxaca	0.3	Privado	Pequeño Productor
<b>La Mata - La Ventosa</b>	Oaxaca	68	EDF-EN	Autoabastecimiento
<b>La Rumorosa I</b>	Baja California	10	CFE	Pública
<b>La Venta I</b>	Oaxaca	1	CFE	Pública
<b>La Venta II</b>	Oaxaca	83	CFE	Pública
<b>La Venta III</b>	Oaxaca	102,85	CFE/ Iberdrola Ren.	PIE
<b>La Ventosa</b>	Oaxaca	102	Iberdrola Renovables	Autoabastecimiento
<b>Los Altos</b>	Jalisco	50,4	Grupo Dragón	Autoabastecimiento
<b>Los Vergeles</b>	Tamaulipas	161	N/D	Autoabastecimiento
<b>Oaxaca I</b>	Oaxaca	101	CFE/EYRA	PIE
<b>Oaxaca II</b>	Oaxaca	102	CFE/Acciona Energía	PIE
<b>Oaxaca III</b>	Oaxaca	102	CFE/Acciona Energía	PIE
<b>Oaxaca IV</b>	Oaxaca	102	CFE/Acciona Energía	PIE
<b>Pacífico</b>	Oaxaca	160	EDF	Autoabastecimiento
<b>Parques Ecológicos de México</b>	Oaxaca	79,9	Iberdrola Renovables	Autoabastecimiento
<b>Piedra Larga</b>	Oaxaca	228	Renovalia	Autoabastecimiento
<b>Sierra Juárez</b>	Baja California	155	Lenova	Autoabastecimiento
<b>Stipa Nayaa</b>	Oaxaca	74	Gamesa / Enel Green	Autoabastecimiento
<b>Sureste I Phase II</b>	Oaxaca	102	Enel Green Power	PIE

Tabla 3. Parques eólicos en México (Fuente: ICEX)

Esta potencia eólica se centra en el parque de generación que se presenta a continuación:

Tecnología	Capacidad 2013 (MW)	Capacidad 2014 (MW)	TCA <sup>1/</sup> (%)
<b>Convencional</b>	<b>48,411</b>	<b>48,530</b>	<b>0.2</b>
Ciclo combinado	22,830	23,309	2.1
Termoeléctrica convencional	13,519	12,959	-4.1
Carboeléctrica	5,378	5,378	0.0
Turbogás <sup>2/</sup>	3,418	3,419	0.0
Combustión Interna	1,146	1,312	14.5
Lecho fluidizado	580	580	0.0
Múltiple <sup>3/</sup>	1,540	1,573	2.1
<b>Limpia</b>	<b>15,720</b>	<b>16,921</b>	<b>7.6</b>
<b>Renovable</b>	<b>14,160</b>	<b>15,334</b>	<b>8.3</b>
Hidroeléctrica	11,679	12,429	6.4
Eólica	1,611	2,036	26.4
Geotérmica	823	813	-1.2
Solar	46	56	20.7
<b>Otras</b>	<b>1,560</b>	<b>1,587</b>	<b>1.7</b>
Nucleoeléctrica	1,400	1,400	0.0
Bioenergía <sup>4/</sup>	154	180	17.5
Frenos regenerativos	7	7	0.0
<b>Total</b>	<b>64,131</b>	<b>65,452</b>	<b>2.1</b>

Tabla 4. Capacidad instalada (México (Fuente: ICEX)

La generación se concentra en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Coahuila y Baja California. El total de la generación fue de 301 TWh, de las cuales un 79,6% vino de la térmica, fundamentalmente gas y fueloil.

La propiedad de las centrales se refleja en la tabla siguiente:

Modalidad	Capacidad Convencional (MW)	Capacidad Limpia (MW)	Capacidad Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión (MW) <sup>1/</sup>	Participación <sup>2/</sup> (%)
<b>Servicio Público</b>	<b>39,282</b>	<b>15,085</b>	<b>54,367</b>	<b>54,690</b>	<b>83.1</b>
CFE	26,942	14,574	41,516	41,516	63.4
PIE	12,340	511	12,851	13,174	19.6
<b>Particulares</b>	<b>9,249</b>	<b>1,836</b>	<b>11,085</b>	<b>5,424</b>	<b>16.9</b>
Autoabastecimiento	4,168	1,636	5,804	3,898	8.9
Pequeña Producción	30	48	78	90	0.1
Cogeneración	3,454	82	3,536	1,436	5.4
Exportación	1,250	0	1,250	-	1.9
Usos Propios Continuos	346	70	417	-	0.6
<b>Total</b>	<b>48,530</b>	<b>16,921</b>	<b>65,452</b>	<b>60,114</b>	<b>100</b>

Tabla 5. Capacidad instalada por tipología de propiedad (Fuente: ICEX)

Se observa la evolución del año 2015-2016 con una bajada del consumo en los meses de invierno:

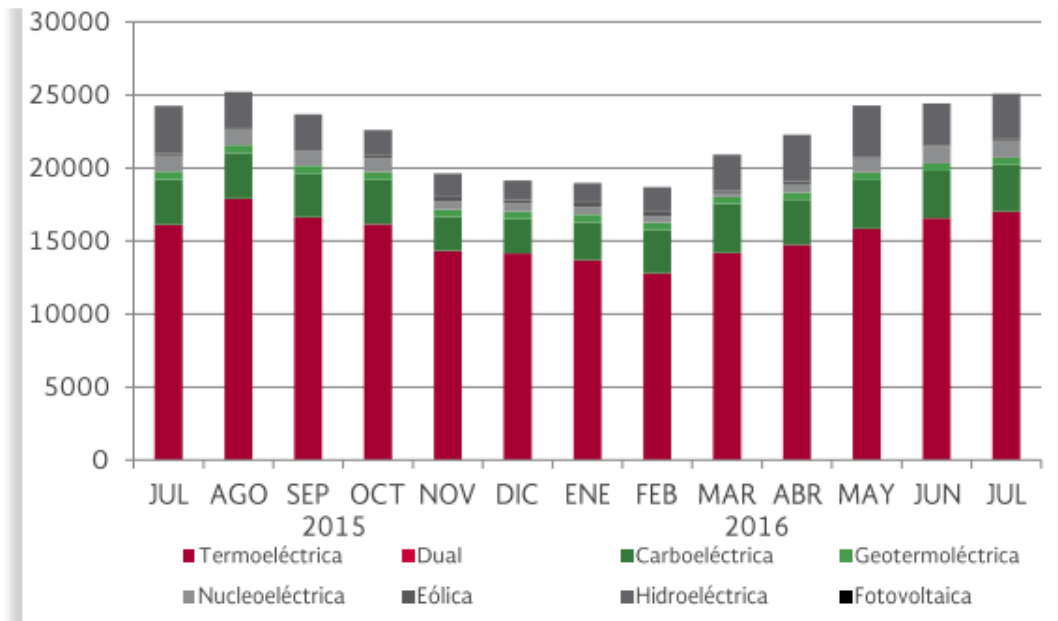


Figura 3. Evolución de la potencia (Fuente: Navigant)

• **Aumentó 3.3% la generación bruta de electricidad del servicio público.**

En julio de 2016 se generaron 25,056.8 gigawatts-hora (GWh) de energía eléctrica para el servicio público, lo que significó un aumento de 3.3% en comparación con el mismo mes del año anterior.

Tipo de planta	Generación (GWh)	Porcentaje de participación	Generación Jul 2016 vs. 2015
<b>Termoelectricas<sup>4</sup></b>	17,016.9	67.9%	5.6% ▲
CFE	4,436.6	17.7%	8.0% ▲
PIE <sup>5</sup>	7,862.7	31.4%	2.5% ▲
<b>Dual</b>	0.0	0.0%	2.0% ▲
<b>Carboelectrica</b>	3,200.0	12.8%	3.5% ▲
<b>Geotermoelectrica</b>	485.3	1.9%	12.6% ▼
<b>Nucleoelectrica</b>	1,177.9	4.7%	8.8% ▲
<b>Eolica</b>	198.9	0.8%	0.3% ▼
CFE	20.0	0.1%	8.5% ▲

<sup>4</sup> Incluye Ciclo combinado, Ciclo de Vapor, Turbo gas y Combustión Interna.

<sup>5</sup> Productores Independientes.

PIE <sup>5</sup>	178.9	0.7%	1.2% ▼
<b>Hidroelectrica</b>	2,976.5	11.9%	7.0% ▼
<b>Fotovoltaica</b>	1.2	Menor al 1%	5.8% ▼

Tabla 6. Generación bruta 2016 (Fuente: SENER)

## 2.3. Marco regulatorio

### 2.3.1. La reforma energética

Dentro de las nuevas leyes en materia energética destaca la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) que entró en vigor en agosto del 2014 y permite, de forma similar a otros países, la participación de las entidades privadas en la generación y comercialización de electricidad, manteniendo el control estatal en la operación, distribución y transporte de electricidad.

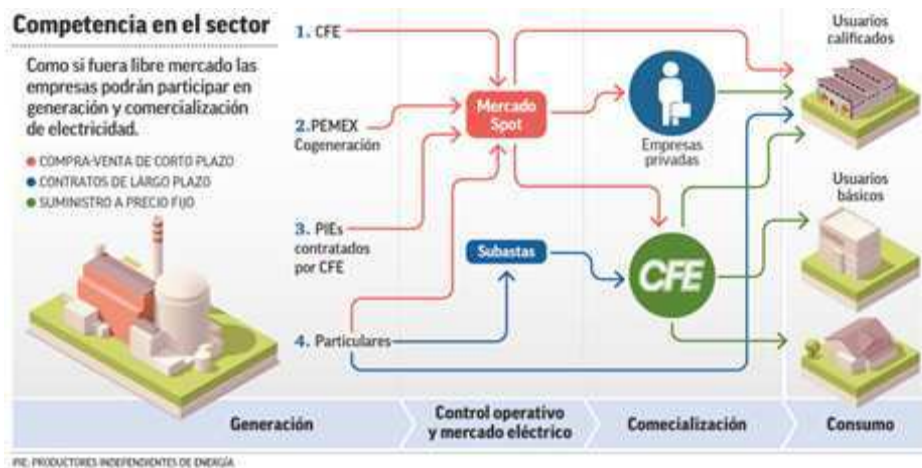


Ilustración 2. Modelo de competencia en el sector (Fuente: SENER)

Se establece un objetivo del 35% de energía limpia (incluye también la nuclear) para el año 2024 y se prevé que la mitad de la misma provenga de la energía eólica, aunque los resultados de la subasta han quebrado tan optimista previsión. Se apoya también la generación distribuida y el autoabastecimiento.

El Mercado Mayorista Eléctrico (MEM) es operado por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). La Comisión Reguladora de Energía (CRE) se responsabiliza de la regulación, tanto desde el punto de vista de los permisos y contratos como de fijar las tarifas de transporte, distribución y venta para el servicio básico de electricidad. Además, es de especial interés para el sector eólico, porque administra los Certificados de Energías Limpias (CEL).

En la figura siguiente se incluyen la tipología de los diferentes agentes del mercado eléctrico mexicano:

### Usuarios Finales

Características	Consumo: $\geq$ X MW (determinado por SENER)		No Califica o elige Servicio Básico
Tipo de Usuario Final	Usuario Calificado		Usuario de Servicio Básico
Modalidad de Servicio	Participante del Mercado	Suministro Eléctrico Integral	
Representante	Usuario	Suministrador Calificado	Suministrador de Servicios Básicos

### Generadores

Características	Requiere Permiso	No Requiere Permiso (< 0.5 MW)	
Tipo de Generador	Generador (Permisionario)	Generador Exento	
Modalidad de Compraventa	Participante del Mercado	Contrato de Compraventa	
		<i>Si es Usuario Calificado o no es usuario</i>	<i>Si comparte medidor con Usuario Estándar</i>
Comprador	CENACE	Suministrador Calificado	Suministrador de Servicios Básicos

Ilustración 3. Agentes participantes en el mercado (Fuente: SENER)

Por lo que respecta a la forma de contratación, estas se reflejan en la figura siguiente:

Producto	MEM	Bilateral
Energía	✓	
Servicios Conexos (Reservas Operativas, Reservas Rodantes)		
Potencia		
Certificados de Energías Limpias		
Derechos Financieros de Transmisión		
<b>Contratos de Cobertura Bilaterales</b> - Energía, Servicios Conexos - Potencia - Certificados de Energías Limpias - Derechos Fin. de Transmisión		✓
<b>Contratos de Cobertura por Subasta</b> - Energía - Potencia - Certificados de Energías Limpias	✓	

Ilustración 4. Formas de contratación (Fuente: SENER)



La Ley divide a los participantes en el mercado general en diversas categorías: generadores, suministradores, comercializadores, usuarios de suministro básico o usuarios calificados, transportistas y distribuidores. La CFE se mantiene como el principal suministrador y será la única suministradora para los consumidores residenciales y los pequeños consumidores y ninguno de sus activos será privatizado.

Los participantes en el MEM, generadores, suministradores y usuarios calificados deberán presentar los correspondientes avales y celebrar los contratos con el CENACE, todo ello regulado por la CRE.

La generación se considera un negocio independiente ya sea a través de centrales de más de 0,5 MW o por representantes que agrupen plantas de generación. No podrán vender electricidad al por menor como suministro básico ni prestar servicios de distribución o transmisión a terceros. Venderán, por lo tanto, la electricidad en el MEM y/o a un usuario cualificado. En este caso, la CENACE actúa de árbitro de los contratos entre los generadores y los usuarios cualificados.

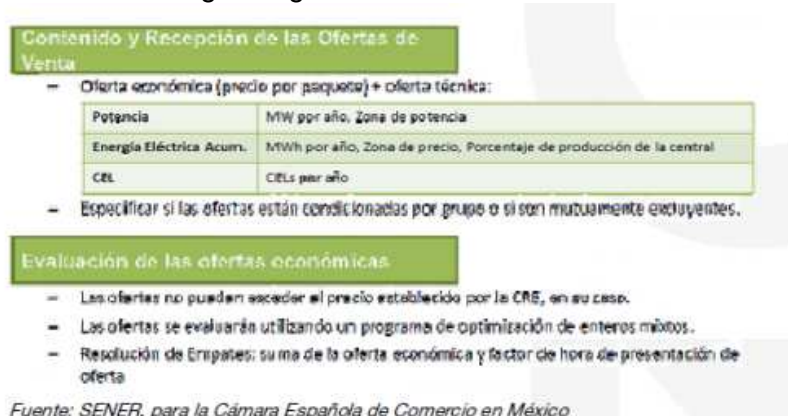
Los usuarios calificados son los que tienen consumos iguales o mayores a 3 MW, así como aquellos operaban bajo los esquemas de autoabastecimiento, cogeneración e importación de electricidad cuando entró en vigor la ley. Los usuarios de suministro básico, fuera de la categoría anterior, serán suministrados por CFE que adquirirá la electricidad en el MEM.

Los suministradores son comercializadores que atienden a usuarios finales o representan a generadores en el MEM. Existen tres categorías y requieren el permiso de la CRE: suministradores de servicios básicos, de servicios calificados y de último recurso. La CFE es la única que puede prestar el primer servicio y los últimos prestan servicios de emergencia a los usuarios cualificados.

El mercado eléctrico se organiza a través de subastas con la finalidad de atender el consumo en condiciones de seguridad y confiabilidad, estableciéndose tres tipos:

- a) Subastas a mediano plazo para una participación de carga.
- b) Subastas de largo plazo para potencia, energía limpia y certificados de energías limpias.
- c) Subastas de derechos financieros de transmisión.

Las del segundo tipo son las aplicables a los parques eólicos y los resultados de la primera y segunda son los que se presentan en la sección siguiente. La estructura de las ofertas se presenta en la figura siguiente:



**Contenido y Recepción de las Ofertas de Venta**

- Oferta económica (precio por paquete) + oferta técnica:
 

Potencia	MW por año, Zona de potencia
Energía Eléctrica Acum.	MWh por año, Zona de precio, Porcentaje de producción de la central
CEL	CELs por año
- Especificar si las ofertas están condicionadas por grupo o si son mutuamente excluyentes.

**Evaluación de las ofertas económicas:**

- Las ofertas no pueden exceder el precio establecido por la CRE, en su caso.
- Las ofertas se evaluarán utilizando un programa de optimización de enteros mixtos.
- Resolución de Empaques: suma de la oferta económica y factor de hora de presentación de oferta

Fuente: SENER, para la Cámara Española de Comercio en México

**Ilustración 5. Ofertas económicas subastas (Fuente: ICEX)**

## Certificados de Energía Limpia (CEL)

Los CEL son títulos comerciales que representan la producción de cierta cantidad de energía a través de fuentes limpias (no fósiles) por una empresa de generación eléctrica, que es su emisor (vendedor). Cada CEL equivaldrá a 1 mega watt hora (MWh) de electricidad generada.

Surgen en México como un mecanismo coadyuvante para alcanzar el cumplimiento de la meta de 35% de generación eléctrica en el país a partir de fuentes limpias trazada en la Ley de Cambio Climático.

Reglas de funcionamiento de los CEL:

- La Comisión Reguladora de Energía (CRE) fungirá como administrador. El regulador lanzará su portal 'Declaracel', en el que tanto emisores como compradores de CEL registrarán su actividad.
- Todos los participantes del sistema eléctrico nacional deberán estar inscritos antes del 30 de noviembre del 2017.
- El CENACE enviará a la CRE los balances mensuales y un reporte anual del sistema eléctrico y las empresas enviarán sus ofertas y demandas de CEL para que la CRE la divulgue.
- En 'Declaracel' cada participante tendrá una cuenta sobre cuántos CEL requiere o tiene disponibles, cuántos ha colocado, cuántos debe pagar y cuáles son sus plazos para cumplir con sus obligaciones legales.
- Los participantes deberán presentar una garantía de crédito *stand by* a favor de la autoridad, que respalde su actividad.
- Cada año, la CRE hará un corte y en los primeros tres meses enviará los adeudos a los participantes que hayan incurrido en incumplimiento. Las sanciones mínimas van desde cuatro salarios mínimos por mega watt incumplido.

La principal misión de los CEL es permitir que las empresas de generación eléctrica a través de fuentes fósiles y grandes consumidores de electricidad cumplan con el parámetro mínimo de generación limpia que se exigirá por ley, que este caso es del 5%. Esto, a través de un mercado competitivo que permita asignar eficientemente la producción renovable, en el que los generadores con excedentes los podrán vender a quienes no cumplan con el 5% dicho anteriormente.

Los demandantes o compradores, pueden ser desde empresas de suministro eléctrico que tienen que cumplir con un requerimiento mínimo de generación eléctrica través de fuentes limpias según el parámetro fijado por el gobierno, hasta grandes consumidores de electricidad participantes en el mercado eléctrico mayorista y usuarios finales que se autoabastezcan por fuentes propias o a través de importaciones de electricidad.

## Derechos legados

Aplica a los proyectos acogidos a la normativa anterior, ya sea de autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, producción independiente, importación o exportación de electricidad y usos propios continuos.



En cualquier caso, podrá solicitarse acogerse a la nueva regulación, pudiendo en los cinco años siguientes cambiar de modalidad sin que las condiciones previas sufran modificación alguna. Estos criterios serán aplicables a aquellos que estén en tramitación antes del 12 de agosto de 2014.

## 2.4. Resultados de la primera subasta a largo plazo en México 2016

El objetivo de las subastas de energía a largo plazo es avanzar las metas de energías limpias y obtenerlas al mínimo coste para los consumidores finales. Todas las tecnologías compiten, reconociendo el valor de cada una, para esto, cada proyecto debe ser bancable, es decir, que los proyectos deben ser económicamente viables para que los bancos puedan invertir en ellos.

Razón Social	Energía Eléctrica [MWh/año]	CEL/Año	Precio Paquete [pesos/Año]	Precio Unitario [dls/MWh+CE L]	Tipo	Estado
Aldesa Energías Renovables	113,199	113,199	117,085,926	59.79	Eólica	Yucatán
Aldesa Energías Renovables	117,689	117,689	121,730,100	59.79	Eólica	Yucatán
Consortio Energía Limpia 2010	291,900	291,900	338,331,511	67	Eólica	Yucatán
Enel Green Power México	972,915	972,915	597,503,346	35.5	Solar	Coahuila
Enel Green Power México	737,998	737,998	489,680,736	38.36	Solar	Coahuila
Enel Green Power México	539,034	539,034	421,005,400	45.15	Solar	Guanajuato
Energía Renovable de la Península	275,502	275,502	314,423,955	65.97	Eólica	Yucatán
Energía Renovable del Istmo II	585,731	-	233,254,958	42.9	Eólica	Tamaulipas
Energía Renovable del Istmo II	-	585,731	201,444,455	42.9	Eólica	Tamaulipas
Jinkosolar Investment	277,490	277,490	226,975,665	47.28	Solar	Jalisco
Jinkosolar Investment	176,475	176,475	178,133,177	58.35	Solar	Yucatán
Jinkosolar Investment	48,748	48,748	53,447,999	63.38	Solar	Yucatán
Photoemeris Sustentable	54,975	53,477	64,307,962	68.55	Solar	Yucatán
Recurrent Energy México	140,970	140,970	116,936,169	47.95	Solar	Aguascalientes
Sol de Insurgentes	60,965	60,518	50,500,753	48.06	Solar	BCS
SunPower System México	269,155	263,815	204,932,823	44.45	Solar	Guanajuato
Vega Solar 1	493,303	483,515	478,075,849	56.58	Solar	Yucatán
Vega Solar 1	246,832	241,935	249,047,032	58.91	Solar	Yucatán
<b>Total</b>	<b>5,402,881</b>	<b>5,380,911</b>	<b>4,456,817,816</b>	<b>951</b>		

Tabla 7. Ofertas seleccionadas en la primera subasta energética 2016 en México

Las ofertas se diseñan según las necesidades del suministrador y de acuerdo con las capacidades de cada planta ajustándose por su ubicación y hora de generación. Las ofertas seleccionadas se describen en la

Tabla .

Dentro de las 18 ofertas seleccionadas de 11 empresas diferentes, de países como México, España, Italia, Estados Unidos y China, los tamaños de los proyectos van desde 18 MW hasta 500 MW.

Se asignaron la gran mayoría de lo que se esperaba, con una energía de 5.402.880 MWh por año, cubriendo el 84,9% de lo que se tenía solicitado. En cuanto a los CEL, fueron 5.380.911 por año, cubriendo un 84,6% de lo solicitado.

Esto se refleja como un impulso importante en el sector eléctrico del país, abarcando el 1,9% de la generación total anual, aproximadamente 2,6 mil millones de dólares de inversión.

En los siguientes gráficos podemos ver como se repartieron el total de CEL en los diferentes estados de México, teniendo al Estado de Yucatán con el mayor número de CEL por año ganados (33,5%), repartidos entre tecnología eólica y fotovoltaica.

Estado	CELS/año	Porcentaje
Yucatán	1,802,440	33.50%
Coahuila	1,710,913	31.80%
Guanajuato	802,849	14.92%
Tamaulipas	585,731	10.89%
Jalisco	277,490	5.16%
Aguascalientes	140,970	2.62%
BCS	60,518	1.12%
<b>Total</b>	<b>5,380,911</b>	

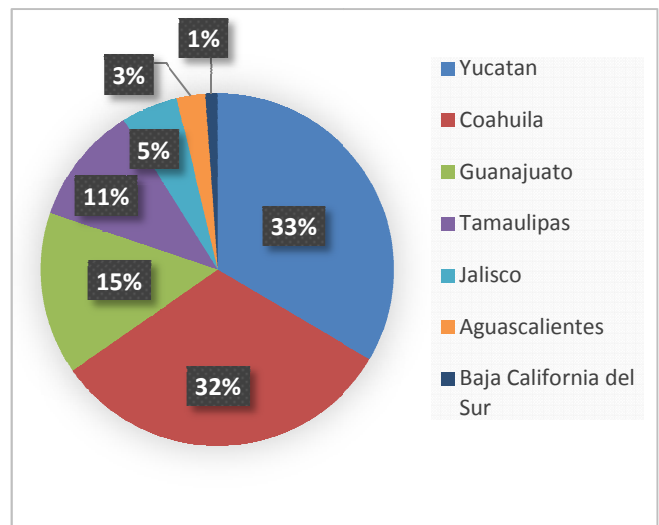


Figura 4. Resultado de CEL/Año en la subasta por estado

La totalidad de los Certificados de Energía Limpia que se repartieron en la subasta fueron para energía eólica y energía solar fotovoltaica, obteniendo más del 70% esta última. En la siguiente tabla se muestran los resultados desagregados por tecnología:

Tecnología	CEL's/año	Porcentaje
Eólica	1,384,021	25.72%
Solar FV	3,996,890	74.28%
<b>Total</b>	<b>5,380,911</b>	

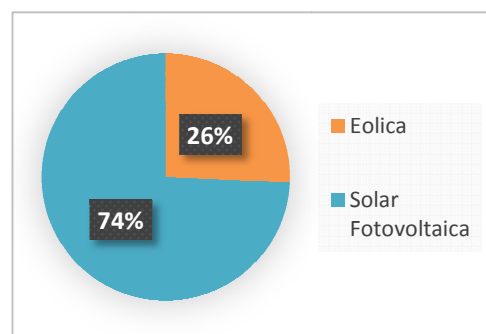


Figura 5. Resultado de CEL/Año en la subasta por tecnología

Los precios promedio de los paquetes de 1 MWh más un Certificado de Energía Limpia fueron aproximadamente de 47,78 dólares, debido a que la energía eólica tuvo un precio de 55,39 dólares y la energía solar fotovoltaica de 45,15 dólares.

En el siguiente gráfico se puede analizar los precios promedio dependiendo de cada estado del país y la tecnología de generación, siendo los precios más elevados en Yucatán tanto en solar fotovoltaica como en eólica y el más barato en Coahuila con generación solar:

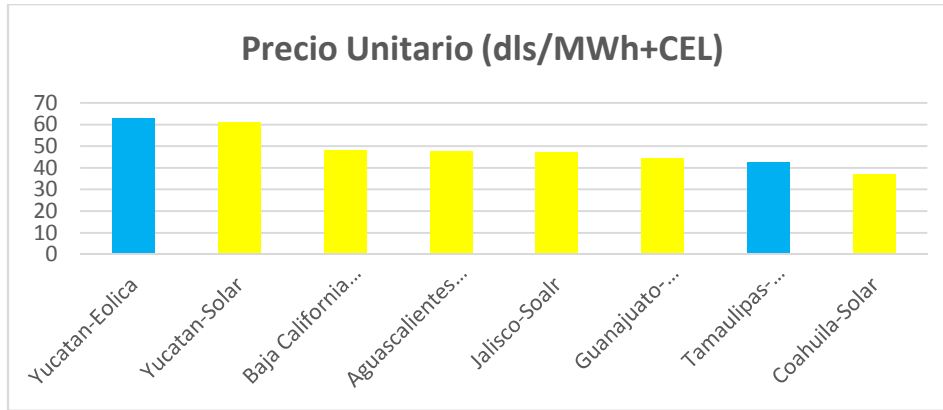


Figura 6. Precios promedio por Estado y tecnología ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

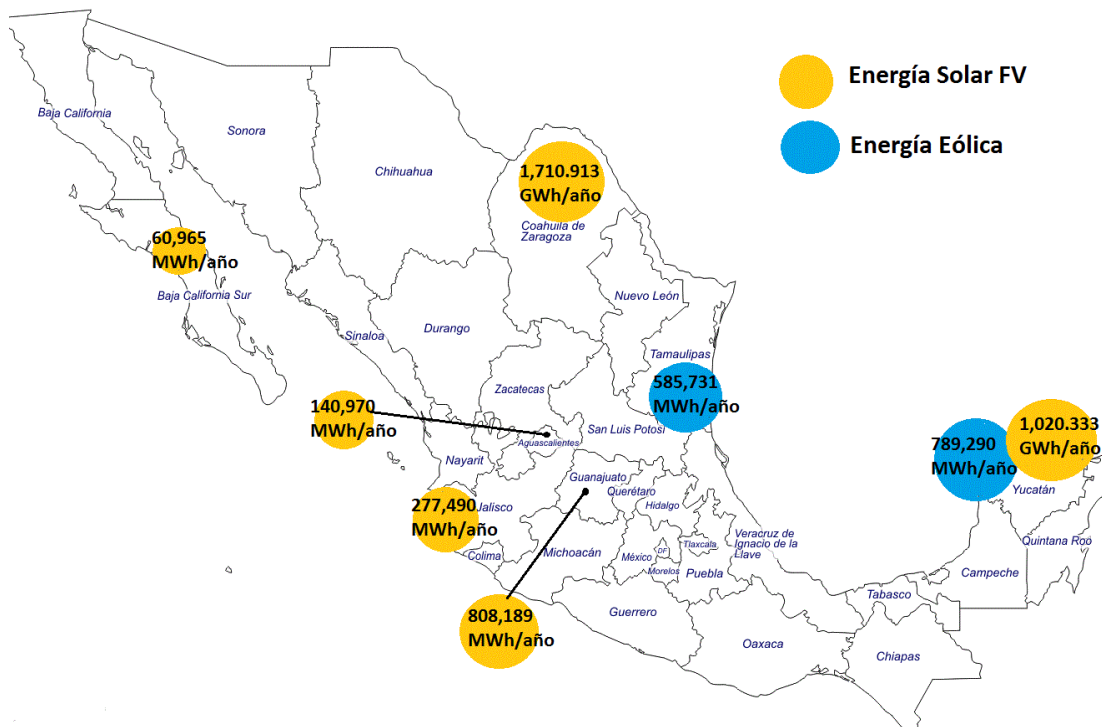


Figura 7. Energía eléctrica por estado y tecnología

Se tiene establecido que para el 28 de marzo del año 2018 entren en operación las centrales eléctricas seleccionadas durante la primera subasta.

## 2.5. Resultados de la segunda subasta a largo plazo en México 2016

Los resultados de la segunda subasta han estado más equilibrados entre eólica y fotovoltaica al desaparecer los incentivos en algunos de los sistemas aislados y dar entrada a parques eólicos en zonas de alto recurso.

De los 57 licitantes, 23, de 11 países diferentes, resultaron adjudicatarios de forma preliminar, alcanzándose el 80,5% de la oferta de potencia, el 83,2% de la oferta de energía y el 87,26% de la oferta de CELs. Cabe destacar que tanto la fotovoltaica como la eólica han realizado ofertas de potencia firme.

El precio promedio de energía limpia fue de 33,47 \$/MWh, muy competitivo y en línea con otras subastas internacionales, así como con la primera de largo plazo, donde el precio medio fue superior en un 30%. Con ambas subastas, el país se acerca al objetivo del 35% de energías limpias en el año 2024.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados por tecnología y sociedad promotora, aunque en algunos casos no es fácil identificar la empresa matriz, tanto EGP con 93 MW como Acciona han obtenido potencia eólica dentro de un conjunto de 2.871 MW con una inversión prevista de 4.000 M\$.

En las dos subastas realizadas, 15 estados de la República (Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Yucatán) se beneficiarán con el desarrollo de proyectos eólicos, solares, hidráulicos y geotérmicos, lo que permitirá la creación de nuevos empleos.

### Tecnologías de las Ofertas seleccionadas

Tecnología	Cantidades asignadas por tecnología			Participación por Tecnología		
	CEL	Energía (MWh)	Potencia (MW-año)	CEL	Energía	Potencia
<b>SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	4,933,382	4,836,597	184	53%	54%	15%
<b>EÓLICA</b>	3,828,757	3,874,458	128	41%	43%	11%
<b>GEOTERMICA</b>	198,764	198,764	25	2%	2%	2%
<b>CICLO COMBINADO</b>	-	-	850	0%	0%	72%
<b>HIDROELECTRICA</b>	314,631	-	-	3%	0%	0%
<b>TOTAL</b>	9,275,534	8,909,819	1,187	100%	100%	100%

Tabla 8. Resultados por tecnología y sociedad promotora

**Ofertas seleccionadas**

	Licitante	Folio y Oferta	Cantidades anuales asignadas		
			CEL	Energía (MWh)	Potencia (MW-año)
1	<u>Alten</u> Energías Renovables México Cuatro, S.A. de C.V.	SLP2016010233-02 SLP2016010233-03 SLP2016010233-04 SLP2016010233-06 SLP2016010233-07 SLP2016010233-08	812,417	722,044	75
2	AT Solar	SLP2016010030-22 SLP2016010030-23 SLP2016010030-24	478,260	478,261	29
3	<u>Bluemex Power 1</u> S.A. de C.V.	SLP2016010245-01	249,982	249,982	-
4	Comisión Federal de Electricidad (CFE)	SLP2016010066-01 SLP2016010066-02	198,764	198,764	400
5	Consortio <u>ENGIE Solar Trompezon</u>	SLP2016010189-01	338,851	342,630	-
6	Consortio <u>Fotowatio</u>	SLP2016010206-01 SLP2016010206-02	779,161	779,162	-
7	Consortio Guanajuato	SLP2016010126-03	146,957	146,958	12
8	Consortio SMX	SLP2016010193-05 SLP2016010193-06 SLP2016010193-07	285,606	278,358	10
9	<u>Enel Green Power México</u> S. de R.L. de C.V.	SLP2016010040-08	399,129	399,130	-
10	Energía Renovable de la Península, S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010164-04 SLP2016010164-05	-	-	30
11	Energía Sierra Juárez Holding S. de R.L. de C.V.	SLP2016010032-07 SLP2016010032-08	117,064	114,116	-
12	Eólica de Oaxaca S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010045-03	818,264	818,265	-
13	Frontera México Generación S. de R.L. de C.V.	SLP2016010175-01 SLP2016010175-02 SLP2016010175-03 SLP2016010175-04 SLP2016010175-05	-	-	475
14	Generadora Fénix S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010103-01 SLP2016010103-05 SLP2016010103-06 SLP2016010103-07 SLP2016010103-09 SLP2016010103-12	314,631	-	-
15	<u>Green Hub</u> , S. DE R.L. de C.V.	SLP2016010255-01	72,919	72,919	10
16	HQ <u>Mexico</u> Holdings, S. de R.L. de C.V.	SLP2016010217-05 SLP2016010217-06 SLP2016010217-07	252,444	252,445	18
17	<u>Kamet</u> Energía México, S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010124-01 SLP2016010124-02	353,466	353,466	-
18	OPDE	SLP2016010096-01 SLP2016010096-02 SLP2016010096-07 SLP2016010096-08	289,508	289,509	-
19	Parque Eólico El Mezquite S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010151-10 SLP2016010151-11 SLP2016010151-12	774,938	820,636	77
20	Parque Eólico Reynosa III, S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010123-01 SLP2016010123-05	1,613,416	1,613,417	-
21	Quetzal Energía México S.A.P.I. de C.V.	SLP2016010051-06 SLP2016010051-08	393,611	393,611	-
22	<u>Tractebel</u> Energía de Altamira, S. de R.L. de C.V.	SLP2016010203-04	223,010	223,011	22
23	X-Elio <u>Energy</u> , S.L.	SLP2016010128-04 SLP2016010128-07	363,136	363,137	30

## 2.6. El acceso y la conexión a la red

La red eléctrica pública mexicana tiene una configuración alargada, determinada por la concentración de la demanda en México DF y Monterrey, con la generación térmica distribuida a lo largo del país y la hidráulica al sur, fundamentalmente en el Estado de Chiapas.

La transmisión y la distribución permanecen bajo control estatal, aunque el gobierno puede celebrar todo tipo de contratos con particulares y a través de CFE para reforzar y extender las redes eléctricas. Se establecen los derechos financieros de transmisión que tienen como subyacente la infraestructura eléctrica afectada, incluyendo las instalaciones que estuvieran en funcionamiento antes de la aprobación de la ley, considerados como derechos legados.

Esta compañía podría sacar a licitación las mejoras, arreglos, modernizaciones o ampliaciones de esta red que podrían realizarse en Asociación Público-Privada con particulares.

Hasta la aprobación de la reforma, la participación en los proyectos estaba restringida para sociedades no constituidas en México o con bienes y servicios no mexicanos en más de un 50%, situación que se espera cambie con el nuevo escenario regulatorio, aunque se van a establecer también unos requisitos mínimos de participación mexicana en las empresas.

Además de la construcción y refuerzos de nuevas líneas, los particulares pueden participar en la financiación, instalación, mantenimiento, gestión y operación de algunas redes concretas.

Existe red eléctrica privada en manos de las 'compañías productoras independientes de energía' o de las sociedades de autoabastecimiento y cogeneración. Generalmente, se trata de líneas no muy extensas que comunican centros generadores con centros de consumo no muy lejanos.

La CENACE establecerá los planes de expansión de la red y los particulares deberán dirigirse a la misma para los proyectos de interconexión de sus centrales, aunque siempre bajo el control de la Secretaría de Energía (SENER).

## 2.7. Los códigos de red

Se presentan a continuación los códigos de red, algunos en fase de desarrollo y en gran medida siguiendo el modelo de los códigos europeos y sobre todo de ENTSOE.

### Control de Frecuencia

Según los procedimientos de despacho y operación de México, el objetivo del control de frecuencia es determinar las instrucciones, fijar criterios y delimitar las responsabilidades del CENACE, del COT y de los Centros de Operación de los agentes en el control de la frecuencia, en condiciones normales y de emergencia.

La regulación primaria de la frecuencia del SNI se llevará a cabo a través del sistema de regulación de velocidad localizado en cada unidad generadora. La regulación secundaria de la frecuencia se realizará a través de las unidades generadoras asignadas por el CENACE para este propósito.



<b>Condiciones de Operación</b>		
<b>Operación en condiciones normales</b>	<b>Operación en condiciones anormales</b>	<b>Operación en sistemas aislados</b>
La frecuencia de referencia coincidirá con la nominal (60 Hz) salvo en circunstancias especiales en que el CENACE ordene un valor distinto.	Durante situaciones anormales de hasta 24 horas de duración, el CENACE podrá ordenar valores distintos de frecuencia de referencia.	El CENACE determinará la frecuencia de referencia para la misma de acuerdo con los Procedimientos de Despacho y Operación y supervisará el cumplimiento hasta que se disponga la sincronización del área con el SIN.

**Tabla 4. Condiciones de operación para el control de frecuencia**

## **Regulación de frecuencia en condiciones normales**

### **Regulación primaria de frecuencia (RPF)**

La Regulación Primaria de Frecuencia se operará en forma automática y participarán en ella las unidades generadoras habilitadas para la RPF. Será obligación de los Generadores comunicar al CENACE cuando alguna unidad generadora no aporte temporalmente a la RPF, informando de las causas de dicha limitación operativa, el tiempo estimado que permanecerá en ese estado y el momento a partir del cual vuelve a la operación de regulación normal.

Todo generador que varíe su generación en cumplimiento de una orden del CENACE, lo hará con un gradiente de carga (MW/min) definido por el CENACE, que no tenga incidencia sobre la frecuencia del Sistema, con el fin de no provocar variaciones de frecuencia fuera de los límites establecidos en operación normal.

### **Regulación secundaria de frecuencia (RSF)**

La regulación secundaria de frecuencia se realizará de forma automática por un grupo de unidades generadoras hidráulicas y/o térmicas, asignadas para tal fin. En el caso de que una sola central realice la RSF, esta podrá ser realizada de forma manual hasta que el grupo de unidades generadoras designadas dispongan de los equipos necesarios para realizar la RSF de forma centralizada y automática.

De igual manera, el CENACE podrá asignar la operación de la RSF a un Generador y le informará además del valor de la Frecuencia de Referencia y la diferencia entre la hora patrón y la sincrónica en el instante de la asignación.

### **Control de error en tiempo real (CET)**

Cuando la diferencia entre la hora sincrónica y el patrón alcance o supere dos segundos, el CENACE corregirá el error del tiempo disponiendo en forma temporal una Frecuencia de Referencia diferente. La Frecuencia de Referencia no podrá diferir en más de  $\pm 0.15$  Hz de la Frecuencia Nominal, en horas pico la frecuencia de referencia deberá ser igual a 60.0 Hz en condiciones normales de operación.



## Regulación de frecuencia en condiciones anormales

### Variación imprevista de la demanda

Cuando se produzca una variación de la Frecuencia fuera de la banda determinada por los límites establecidos para las condiciones de operación normal, a causa de una variación imprevista de la demanda y por esto, resulte una variación de potencia en las unidades generadoras que agote su Reserva Reguladora Máxima, deberá permitirse que las mismas sigan aportando a la RPF mientras su potencia de operación sea menor o igual a su potencia efectiva.

### Desconexión de carga o generación

Para variaciones de frecuencia debido a estas causas, los Generadores deberán supervisar que, siempre que no se excedan los límites de seguridad de los equipos, se mantenga en servicio la regulación primaria de las unidades generadoras.

El Generador que tenga asignada la RSF la seguirá operando según las pautas propuestas para operación normal, y de acuerdo a las necesidades de la contingencia, informando de su situación al CENACE, que coordinará la ayuda necesaria del resto del Sistema, a fin de reponer los márgenes, emitiendo órdenes específicas para cada generador en particular.

## Regulación de frecuencia en estado de emergencia

### Separación del sistema en subsistemas

El CENACE y los Centros de Operación de cada uno de los subsistemas que resulten aislados se responsabilizarán del control de la frecuencia en el área respectiva, siguiendo las líneas descritas en estos Procedimientos y atendiendo, los últimos, a las órdenes emitidas por el CENACE con el fin de efectuar la sincronización.

En caso de que no se pueda realizar la sincronización en esta condición, el área de menor demanda deberá asumir la hora sincrónica de la mayor demanda.

Antes de ver los códigos de red aplicables al aporte de inercia, se deben tener en cuenta la clasificación de las diferentes centrales eléctricas definidas en la tabla siguiente.

Áreas sincronas	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

Tabla 5. Clasificación de las centrales eléctricas según su capacidad ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

## Rango de frecuencias admisibles

Los rangos de frecuencia vienen descritos en el apartado 2.1 del documento de requerimientos técnicos para las interconexiones, y se describen a continuación:

- La Central Eléctrica durante su vida útil debe mantenerse interconectada a la red operando dentro de los rangos de frecuencia y tiempos definidos en la Tabla 6.
- Los tiempos especificados son acumulativos e independientes en cada rango de frecuencia.
- Los rangos más amplios de frecuencia o tiempo pueden ser solicitados por el CENACE de manera justificada para preservar o restablecer la seguridad del sistema, asegurando el mejor aprovechamiento de las capacidades técnicas de algunas tecnologías. Si estos rangos son económica y técnicamente factibles, no deben limitarse.

Área síncrona	Rango de frecuencias	Tiempo mínimo de operación
<b>Sistema Interconectado Nacional y Baja California</b>	61.8 Hz $\leq f <$ 62.4 Hz	15 minutos
	61.2 Hz $\leq f <$ 61.8 Hz	30 minutos
	58.8 Hz $\leq f <$ 61.2 Hz	Ilimitado
	58.2 Hz $\leq f <$ 58.8 Hz	30 minutos
	57.0 Hz $\leq f <$ 58.2 Hz	15 minutos
<b>Sistema Baja California Sur y Sistema Interconectado Mulegé</b>	61.8 Hz $\leq f <$ 63.0 Hz	15 minutos
	61.2 Hz $\leq f <$ 61.8 Hz	30 minutos
	58.8 Hz $\leq f <$ 61.2 Hz	Ilimitado
	58.2 Hz $\leq f <$ 58.8 Hz	30 minutos
	57.0 Hz $\leq f <$ 58.2 Hz	15 minutos

Tabla 6. Tiempo mínimo de operación ante variaciones de frecuencia

### Respuesta ante un cambio repentino de la frecuencia

La Central Eléctrica asíncrona debe mantenerse interconectada a la red y operando ante razones de cambio de la frecuencia respecto al tiempo, con una velocidad de hasta 2 Hz/s. Este requerimiento se podrá actualizar si se justifica mediante estudios técnicos, en términos de la seguridad del SEN, y, en su caso, la Comisión Reguladora de Energía con apoyo del Comité de Confiabilidad establecerá un periodo transitorio para su implementación y razones de cambio de la frecuencia. CENACE puede solicitar tiempos más amplios de manera justificada para preservar o restablecer la seguridad del sistema, asegurando el mejor aprovechamiento de las capacidades técnicas de algunas tecnologías. Si esta razón de cambio resulta ser económica y técnicamente factible, no debe limitarse.

## Regulación de Potencia Activa y Frecuencia

Para la respuesta ante una alta frecuencia en la red eléctrica, la Central Eléctrica debe activar su control sobre la generación de Potencia Activa en respuesta a una condición de alta frecuencia como se muestra en la Figura . Este control deberá ser activado a partir de los 60.2 Hz, con una característica de regulación seleccionable entre 3% y 8%.

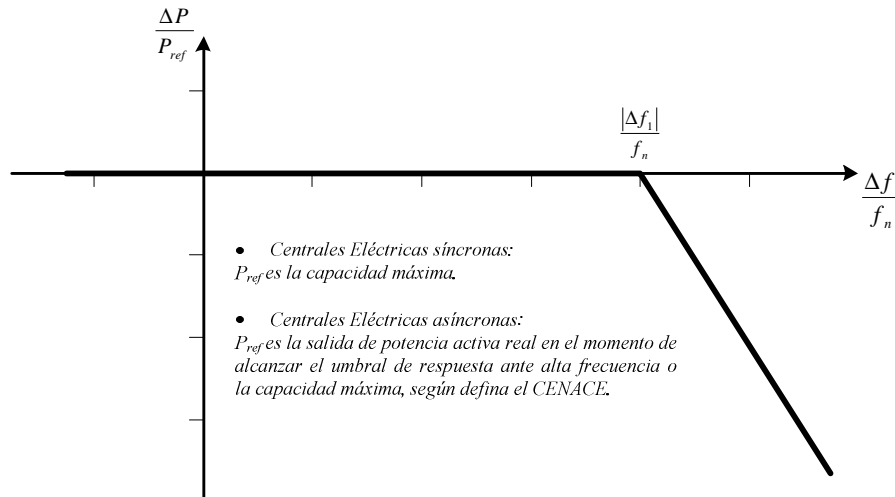


Figura 7. Capacidad de respuesta de la potencia activa de la CE ante alta frecuencia

$P_{ref}$  = potencia activa de referencia  
 $\Delta P$  = cambio en la salida de potencia activa  
 $f_n$  = frecuencia nominal  
 $\Delta f$  = desviación de la frecuencia

Cuando  $\Delta f$  es inferior a  $\Delta f_1$  la Central Eléctrica debe proporcionar un cambio en la salida de potencia activa negativo de acuerdo con las características de regulación indicada en el modo de respuesta ante baja frecuencia.

La Central eléctrica ante baja frecuencia debe activar su control de Potencia Activa en respuesta a una condición de baja frecuencia como se muestra en la Figura .

Este control debe activarse a partir de los 59.8 Hz, con una característica de regulación en el rango del 3% al 8%. El ajuste de la característica de regulación lo definirá el CENACE de acuerdo a las necesidades del sistema. La Central Eléctrica debe proveer un incremento de Potencia Activa hasta su capacidad nominal instalada.

La entrega real de Potencia Activa dependerá de las condiciones ambientales y operativas, en particular ante limitaciones cerca de la capacidad instalada ante baja frecuencia y la disponibilidad de la fuente primaria de energía. 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. Una operación estable durante condiciones de baja frecuencia debe ser asegurada por la Central Eléctrica. Cuando dicho modo esté activo, su valor de consigna debe prevalecer sobre cualquier otro valor de consigna.

La Central Eléctrica debe mantener constante su aportación de Potencia Activa, sin importar los cambios en la frecuencia, a menos que la salida de potencia siga los cambios definidos en términos de respuesta ante alta frecuencia.

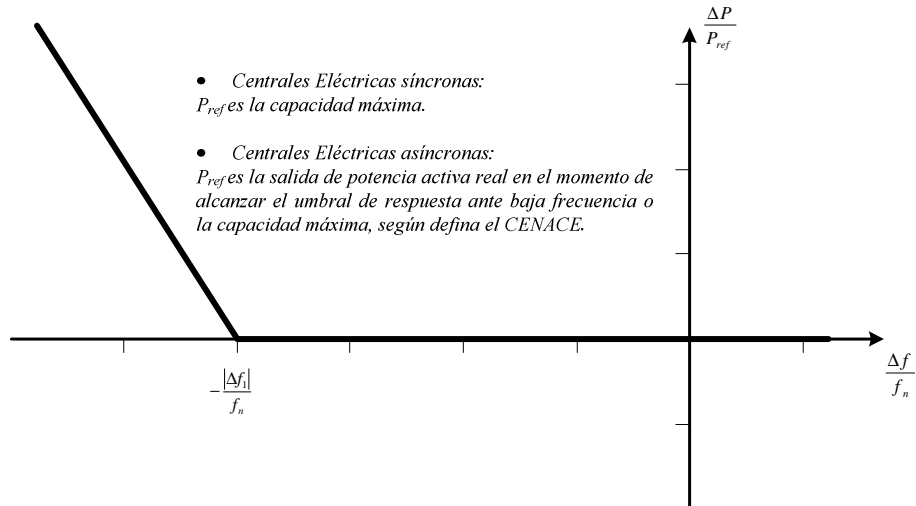


Figura 8. Capacidad de respuesta de la potencia activa de la CE ante baja frecuencia

Cuando  $\Delta f$  es inferior a  $\Delta f_1$  la Central Eléctrica debe proporcionar un cambio en la salida de potencia activa positivo de acuerdo con las características de regulación indicada en el modo de respuesta ante baja frecuencia.

### Control primario de la frecuencia

Los siguientes requerimientos deben aplicar acumulativamente respecto de la respuesta a la frecuencia. La Central Eléctrica debe proveer una respuesta de Potencia Activa a la frecuencia de acuerdo a la Figura y con los parámetros especificados por el CENACE dentro de los rangos de la Tabla 7, los rangos definidos en dicha tabla deben poder ser configurables o ajustables a solicitud del CENACE.

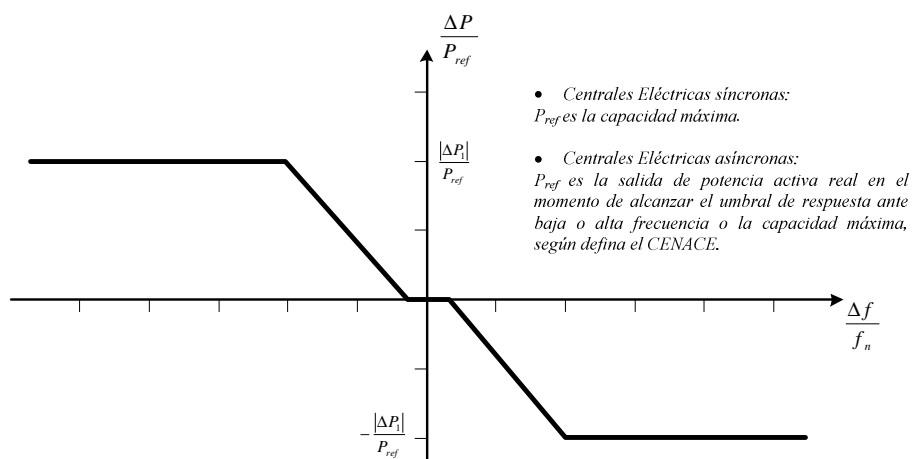


Figura 9. Control primario de frecuencia de la Central Eléctrica

Parámetros	Rangos
Intervalo de potencia activa en relación con la Capacidad instalada	$\frac{ \Delta P_1 }{P_{max}}$ 3% – 10%
Insensibilidad propia del control de respuesta a la frecuencia	$ \Delta f_i $ 5 – 15 mHz
	$\frac{ \Delta f_i }{f_n}$ 0.008% – 0.025%
Banda muerta de respuesta a la frecuencia	$\pm 30$ mHz
Característica de regulación	3% – 8 %

Tabla 7. Parámetros de respuesta de la potencia activa del control primario de frecuencia

Para el caso de alta frecuencia, la respuesta de la Potencia Activa está restringida por el límite mínimo de regulación de acuerdo a la

Tabla 8 para cada tipo de tecnología.

Tecnología de la Central Eléctrica y su tipo principal de combustible	Rango de regulación de potencia activa en relación a la potencia máxima (%)
Carboeléctrica a base de carbón pulverizado	35 – 100
Termoeléctrica a base de combustóleo	20 – 100
Termoeléctrica a base de gas	20 – 100
Termoeléctrica a base de biogás	35 – 100
Termoeléctrica a base de paja o madera	50 – 100
Carboeléctrica a base de carbón sólido	50 – 100
Termoeléctrica a base de biomasa	70 – 100
Motor de gas	50 (35 % al menos 5 minutos) - 100
Turbina de gas	20 – 100
Ciclo combinado a base de gas	20% para la turbina de gas – 100
	75% para la turbina de vapor – 100
Motor Diésel	50 (20 % al menos 5 minutos) - 100
Central Geotérmica	50 – 100
Central eólica	0 - 100
Central fotovoltaica	0 – 100
Hidroeléctrica	0 – 100
Nucleoeléctrica	50 – 100

Tabla 8. Rango de regulación de potencia activa referido a la potencia máxima de cada CE

Para asegurar una adecuada regulación de la frecuencia, la Central Eléctrica debe mantener la respuesta de Potencia Activa, al menos o por encima de la línea sólida, de

acuerdo a los parámetros especificados por el CENACE. La combinación de la elección de los parámetros especificados por el CENACE debe tomar en cuenta las posibles limitaciones de las tecnologías.

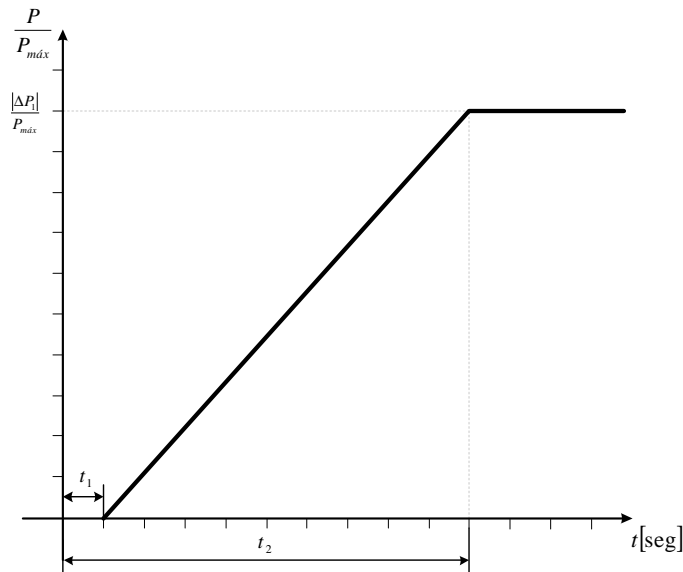


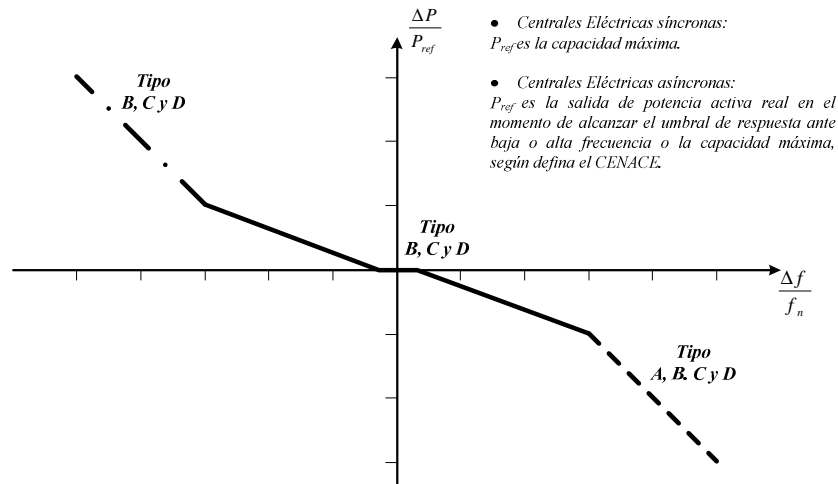
Figura 10. Capacidad de respuesta de la potencia activa a la frecuencia

Parámetros		Rangos o valores
Intervalo de potencia activa en relación con la Capacidad instalada de la Central Eléctrica (intervalo de respuesta a la frecuencia)	$\frac{ \Delta P_1 }{P_{max}}$	3 – 10 %
En el caso de las Centrales Eléctricas síncronas, la demora inicial máxima admisible $t_1$ a menos que se justifique lo contrario de acuerdo con el apartado 2.2 inciso (d) sub-inciso (vi).		2 segundos
En el caso de las Centrales Eléctricas asíncronas, la demora inicial máxima admisible $t_1$ a menos que se justifique lo contrario de acuerdo con el apartado 2.2 inciso (d) sub-inciso (viii).		Menor a 2 segundos
Tiempo de activación total $t_2$ , a menos que el CENACE permita tiempos de activación más largos por motivos de estabilidad del sistema		30 segundos

Tabla 9. Parámetros de activación de la respuesta de la potencia activa a la frecuencia resultante de un cambio en el paso de la frecuencia

Si el retraso en la activación inicial de la respuesta de frecuencia de Potencia Activa es superior a los 2 segundos, la Central Eléctrica debe proporcionar evidencia que demuestre la limitación técnica, de acuerdo a las limitaciones por tecnología, el CENACE podrá fijar un periodo de tiempo inferior a 2 segundos. La Central Eléctrica debe responder a la frecuencia desde el límite máximo de regulación al límite mínimo de regulación y viceversa en un tiempo máximo de 15 minutos. Al especificar este tiempo, el CENACE tomará en cuenta el margen de Potencia Activa y la fuente primaria de energía de la Central Eléctrica. Dentro de los límites de tiempo especificados, el control de Potencia Activa no debe tener ningún impacto adverso en la respuesta a la frecuencia de la Central Eléctrica.

La Central Eléctrica que esté alimentando carga no prioritaria, por ejemplo, plantas con re-bombeo, deberá ser desconectada en caso de baja frecuencia cumpliendo con los ajustes por el CENACE. El requerimiento mencionado en este inciso no se extiende a sus servicios auxiliares.



**Figura 10. Capacidad de respuesta de la potencia activa de la Central Eléctrica ante baja y alta frecuencia, así como el control primario de frecuencia**

Para supervisar la operación de respuesta de Potencia Activa a la frecuencia, la interfaz de comunicación de la Central Eléctrica debe estar equipada para enviar en tiempo real y de manera segura al CENACE al menos las siguientes señales:

- Señal de estado del control primario (activo o inactivo)
- Consigna de Potencia Activa y valor actual de la misma
- Parámetros de ajuste actuales de respuesta de potencia Activa a la frecuencia
- Rango de Potencia Activa en relación con la Capacidad instalada
- Ajuste de insensibilidad de respuesta a la frecuencia
- Banda muerta de frecuencia
- Umbrales de desviación de respuesta de potencia activa ante baja o alta frecuencia

En caso de ser necesario, el CENACE especificará señales adicionales y dispositivos de registro de fallos y monitoreo del comportamiento dinámico del sistema que debe proporcionar la Central eléctrica de acuerdo con las condiciones del SEN.

### Modelos de simulación

La Central Eléctrica proveerá de registro del comportamiento real del CENACE cuando este lo solicite. El CENACE podrá hacer una solicitud de este tipo, con el fin de comparar la respuesta de los modelos con esos registros.

De acuerdo a la Especificación Técnica General que emita la Central Reguladora de Energía, los modelos proporcionados por la Central Eléctrica deben ser validos mediante pruebas en campo, la conformidad de este requerimiento es indispensable para la declaratoria de entrada en operación normal.



## 2.8. El impacto ambiental y social

Por la vertiente ambiental y en base al Capítulo II de la Ley de Industria Eléctrica y los art. 86-86 de su Reglamento (RLIE), es necesario acreditar, para la obtención del permiso de operación de una central de generación eléctrica, la presentación de una Manifestación de Impacto Ambiental y de una Evaluación del Impacto Social (EVI) de cada proyecto. Ésta última está relacionada, asimismo, con la consulta a los pueblos y comunidades indígenas asentados en el respectivo territorio, en su caso.

Existe un procedimiento formalizado para la obtención Manifestación de Impacto Ambiental por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), común a otros procedimientos, similar al que existe en España

Uno de los temas más específicos del desarrollo eólico en México es la precisamente la problemática social ligada no sólo por lo que respecta a los derechos de propiedad sobre los terrenos donde se instalan los parques en algunos estados, conocidos como Ejidos, sino también en la ulterior fase de operación y mantenimiento de los parques.

En este sentido, es importante destacar las peculiaridades de las Evaluaciones de Impacto Social. El régimen de la RLIE recoge que las EVI estarán orientadas con un enfoque participativo basado en la comunidad en cuestión y estarán compuestas de los siguientes componentes:

- I. Informe Ejecutivo
- II. Estudio de Impacto Social
- III. Plan de Gestión Social

Aunque, en principio, este Reglamento recoge de manera clara el proceso para la obtención de la respectiva autorización, en la práctica se han presentado varias dificultades que han obstaculizado el desarrollo de algunos proyectos.

En este sentido, la falta de coordinación entre la presentación de este EVI y los plazos para la obtención del resto de permisos es una de las principales causas que están afectando al normal avance de estos proyectos, conforme a declaraciones de la AMDEE.

Respecto a la cuestión de las consultas indígenas, ya se ha realizado algunas en comunidades de la región del Istmo de Tehuantepec, principal polo de inversión en proyectos eólicos y que cuenta con numerosos grupos indígenas. No obstante, estos procesos no han estado exentos de cierta polémica. A modo de ejemplo, desde octubre del 2014, se está realizando una consulta de este tipo en el municipio Juchitán de Zaragoza. Se espera que este proceso sirva como ejemplo para otros y aporte certidumbre las comunidades y/o pueblos indígenas que deben de ser consultadas.

En cualquier caso, y en base a la información reportada por varias empresas trabajando en el mantenimiento de los parques eólicos, se están recibiendo presiones para pagos anuales a diversos agentes sociales que deben ser tenidas en cuenta a la hora de preparar las ofertas para no tener ulteriores sorpresas.

### 3. LA CADENA DE SUMINISTRO

#### 3.1 La cadena de suministro en el mercado Mexicano

Las empresas mexicanas no están obligadas a participar en los procesos de fabricación ni promoción. Las empresas españolas tanto del lado de los promotores como del de los fabricantes tienen gran presencia en el país, se han instalado allí de forma autónoma para atender las necesidades del mercado local:

RODAMIENTOS/ ANILLOS Y FORJAS	GENERADORES	TORRES	DESARROLLO DE PROY.	GENERACIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
Kaydon, liebherr y Frisa	Potencia Industrial y Dymanik Kontroll	CS Wind, Trinity Industries, Tubac, Speco y Enertech	Wind Power de México, Eoliatic del Pacífico, EA Energía, Alternativa de Agua Prieta, Turbopower, IENova, Energías Ambientales Oaxaca, Iberdrola Renovables, Emerald Power México, Mase Energy, CISA, Eoliatic, DEMEX, GSEER, Marena Renovables, México Power Group, Next Energy, Microm, Energreen Cancún, ENEL y Frontera Renovables	Eoliatic del Pacífico, EA Energía, Alternativa de Agua Prieta, Turbopower, Eléctrica del Valle, Gas Natural, IENova, Energías Ambientales Oaxaca, Iberdrola Renovables, Fuerza Eólica y Marena Renovables	Wind Power de México y Alstom México

Tabla 10. Participantes en la cadena de suministro de la eólica en México (Fuente: ICEX)

Entre las principales empresas que fabrican partes y componentes relacionados con la industria eólica en México podemos destacar:

#### Fabricación de generadores:

Dynamik Kontroll S.A. de C.V.: Dynko es una empresa mexicana con sede en Jalisco con operaciones y fabricación de aerogeneradores en México, que también ofrece servicios de distribución de suministros para parques eólicos en toda América Latina.  
Potencia Industrial: es la única empresa 100% mexicana que produce generadores para turbinas adaptadas a las necesidades de los clientes y con gran tradición exportadora, sobre todo a EEUU.

#### Fabricación de palas:

Mitsubishi Heavy Industries de México, S.A. de C.V. produce palas en Ciudad Juárez para exportación a Estados Unidos y el propio mercado mexicano. Vientek (empresa conjunta de Mitsubishi y TPI Composites) también se dedica a la producción de palas para turbinas.

**Fabricación de torres:**

Existen numerosas empresas como Trinity, Tubac, CS Wind, Speco y Enertech Fabricaciones que se encuentran produciendo torres de acero para el mercado mexicano.

**Otros componentes para energía eólica:**

Las empresas Kaydon, Liebherr y Frisa fabrican baleros y rodamientos para la energía eólica. Por su parte, GE International Mexico produce sistemas de interconexión eléctrica; General Cable de México suministra cables para energías renovables PV (Eólica y Solar), etc.

La presencia española es importante, tanto por la vertiente de promotores como fabricantes, lista que se ha completado como resultado de las últimas subastas, aunque, en este último caso, se observa un creciente interés por parte de empresas de diferentes países ante el crecimiento del mercado mexicano e incluso para suministrar al mercado americano.

**Promotores**

ACCIONA  
AES MEXICO  
ALDENER  
ALARDE  
AMDA  
BH CLEAN ENERGY  
CISA ENERGIA  
CUBICO  
DEMEX  
ECOWIND  
EDF  
EOLICA DEL SUR  
ENEL  
ENERFIN  
ENERGEO  
EDPR  
ENGIE  
ECOLECTRIC  
EOLIA TEC  
EURUS ENERGY  
FRONTERA RENOVABLE  
GAS NATURAL  
GAMESA  
GEMEX  
GRUPO MEXICO  
IBERDROLA  
INVENESA  
IENOVA  
MASSE ENERGY  
MITSUI  
NEXT ENERGY  
NORTHLAND POWER  
PATTERN DEVELOPERS  
PEÑOLES  
SOWITEC  
SUMITOMO  
EN VISION

ZAPOTECA DE ENERGIA  
SUMA

**Fabricantes**

ABB  
ACCIONA  
GAMESA  
EMA  
EWT  
GE  
GENERAL ELECTRIC  
GOLDWIND  
ALIGE  
KINTECH INGENIERIA  
POTENCIA INDUSTRIAL  
PROLEC  
NRG  
SENVION  
SIEMENS  
SUZLON  
TRINITY  
TURBAC  
VESTAS

**Empresas de servicios**

ANNPER  
APPLUS  
ATTA  
AWS TRUEPOWER  
BARLOVENTO  
BIA-TRABAJOS VERTICALES  
BUREAU VERITAS  
CARGO  
CIIJA  
AZCONOBEL  
DCH  
DEWI  
ESTEYCO  
DNV GL  
CLIMATIC  
FRESH AIR  
GRUPO EYVA  
INGETEAM  
TSK  
ISOLUX  
LUNA RODRIGUEZ  
BASF  
PRIORAERO  
PRODIEL  
S&C  
SALVACON  
SINEA  
SAP  
NATURA MEDIOAMBIENTE

La historia de alguna de estas empresas se presenta a continuación:

Iberdrola Renovables tiene presencia en México desde el año 2001, es en Diciembre de 2008 cuando inicia el primer parque eólico privado en Oaxaca, 79,9 MW (parques Ecológicos de México con máquina de Gamesa). Este parque ha incrementado su potencia en 22 MW adicionales a través de 11 aerogeneradores del modelo G80 de Gamesa según ha informado la compañía en enero 2014. Se sitúa en el municipio de Juchitán de Zaragoza, en el Estado de Oaxaca, y está considerado por la ONU como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Iberdrola es uno de los operadores de referencia en el desarrollo de nuevas instalaciones de energías renovables en México, con una potencia eólica de 230 MW. La Empresa tiene en estos momentos en operación, además de La Ventosa, otros dos parques: La Venta III, de 102 MW, y Bii Nee Stipa, de 26 MW.

Gamesa, quién desarrolla tanto su actividad de promoción y venta de parques eólicos, como la de suministro, instalación y servicios de operación y mantenimiento de aerogeneradores, tiene dos parques eólicos en Oaxaca con 144 MW, además de una oficina comercial y otra de servicios y aerogeneradores. La compañía ha instalado unos 800 MW en México. Como promotor eólico, ha promocionado, construido y puesto en operación más de 170 MW, construye otros 140 MW y dispone, en diferentes fases de desarrollo, de una cartera de parques en el país de 500 MW.

**México**

- Dos Arbolitos Oaxaca *Parque eólico - 70 Mw*

---

- El Retiro La Ventosa y Juchitán (Oaxaca) *Parque eólico - 74 Mw*

---

- Mexico DF Av. Pº de la Reforma 389 Piso 14, Colonia Cuauhtemoc, Delegación Cuauhtemoc, México DF, 06500 Tel: +52 55 50934637 *Oficina comercial de parques*

---

- México DF Torre Diana, piso 14. Av. Pº de la Reforma 389. Colonia Cuauhtemoc, 06500 Tel: +52 55 33 0810 *Oficina comercial de servicios y aerogeneradores*

**Ilustración 6. Presencia directa de Gamesa en México. Fuente: [www.gamesa.es](http://www.gamesa.es)**

Acciona finalizó la construcción de tres parques eólicos en Oaxaca, con 204 aerogeneradores que totalizan 306 MW, aumentando así su presencia en el país con un total 556 MW a Octubre 2011. Estos parques fueron financiados inicialmente por Acciona, pero posteriormente se realizó una emisión de bonos liderada por el Banco Santander para sustituir aquella.

Instalación	C.A/Estado/Región	Potencia total (MW)	Potencia atribuible (MW)	Nº turbinas	Potencia unitaria (MW)
<u>Eurus</u>	Oaxaca	250,50	250,50	167	1500
<u>Oaxaca II</u>	Oaxaca	102,00	102,00	68	1500
<u>Oaxaca III</u>	Oaxaca	102,00	102,00	68	1500
<u>Oaxaca IV</u>	Oaxaca	102,00	102,00	68	1500
<b>TOTAL</b>		<b>556,50</b>	<b>556,50</b>	<b>371</b>	

**Tabla 15. Parques eólicos Acciona. Fuente: [www.acciona.es](http://www.acciona.es)**

Otra empresa española con intereses en México es Renovalia Energy, propietaria del parque eólico de Piedra Larga situado en Oaxaca, de 227 megavatios, y dividido en dos fases: una primera de 90 MW en operación desde diciembre de 2012 cuya electricidad generada se venderá durante los próximos dieciocho años a sociedades del Grupo Bimbo y de otros grupos empresariales asociados, y una segunda fase de 137 MW, en construcción y con entrada en operación prevista para julio de 2014, cuya electricidad generada se venderá al grupo Walmart, una de las mayores empresas de distribución del mundo.

Proyectos Eólicos en Desarrollo						
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW
Vientos del Istmo	Oaxaca	Autoabastecimiento	Preneal	Por Definir	2011-2014	395.9
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabastecimiento	Peñoles	Clipper	2011-2012	30
Bií Hioxo	Oaxaca	Autoabastecimiento	Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	227.5
Bií Stinú	Oaxaca	Autoabastecimiento	Ecliatec del Istmo (Eolia)	Por Definir	2011-2013	164
Santo Domingo	Oaxaca	Autoabastecimiento	Ecliatec del Pacífico (Eolia)	Por Definir	2011-2014	160
Bií Nee Stipa	Oaxaca	Autoabastecimiento	Cisa-Gamesa	Gamesa	2011-2014	288
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Oaxaca	Autoabastecimiento	Renovalia	Por Definir	2011-2014	227.5
Unión Fenosa	Baja California	Exportación	Gas Natural/Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	400
Sempre	Baja California	Exportación	Sempre	Por Definir	2011-2014	1200
Fuerza Eólica	Baja California	Exportación	Fuerza Eólica	Por Definir	2011-2014	400
OFF: Obra Pública Financiada						3,492.9

Tabla 16. Proyectos eólicos en desarrollo

La empresa Española Preneal ha desarrollado parques eólicos en Oaxaca que fueron posteriormente vendidos al fondo Macquarie. Por otro lado, prevé instalar turbinas eólicas en el Estado de México Zacatecas, con una inversión por valor de 300 millones de dólares para la instalación de una central eólica en los municipios de Zacatecas, Guadalupe, Ventagrande y Panuco a finales de 2013.

Gas Natural Fenosa montará su primer parque eólico en 2014 con 230 MW en Oaxaca, al sur de México, es el parque Bií Hioxo. La empresa ha adjudicado a Gamesa su construcción integral, que incluye la instalación de 117 aerogeneradores G80 de 2 MW de potencia unitaria, así como la obra civil y las instalaciones auxiliares. Una vez puesto en marcha el parque, se convertirá en el segundo mayor de México.

En cuanto al del desarrollo tecnológico, el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) dispone de un centro de ensayos en el Istmo donde ha instalado un aerogenerador japonés de 300 kW diseñado para zonas de alta intensidad de turbulencia. Se ha anunciado asimismo un centro tecnológico impulsado por el Gobierno estatal, con la colaboración de la Universidad y para el que se espera apoyo por parte española.

## ANEXO: GLOSARIO

**AMDEE:** Asociación Mexicana de Energía Eólica [www.amdee.org](http://www.amdee.org)

**IIE:** Instituto de Investigaciones Eléctricas <http://www.iie.org.mx>

**SIGER:** Proyecto Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables  
<http://evaluarer.iie.org.mx/genc/evaluarer/inicio.htm>

**CRE:** Comisión Reguladora de Energía [www.cre.gob.mx](http://www.cre.gob.mx)

**SENER:** Secretaría de Energía (Mexicana) <http://sener.gob.mx/>

**CFE:** Comisión Federal de Energía [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

**Temporada Abierta:** Concurso en el que se presentan las empresas que están dispuestas a cofinanciar el desarrollo de la infraestructura eléctrica para lo cual deben presentar el aval correspondiente a la potencia inicialmente presentada.

**IPP:** (Independent Power Producer) Es una entidad que no es un servicio público pero que cuenta con instalaciones para generar energía para su venta a empresas de servicios públicos.

**ICEX:** Instituto de Comercio Exterior

**PPA:** (Power Purchase Agreement) Es un contrato legal entre un generador de electricidad y un comprador de energía. Las condiciones contractuales pueden durar entre 15 y 20 años, y durante este tiempo el comprador adquiere el poder de la energía y a veces también la capacidad y/o servicios auxiliares desde el generador de electricidad.

### BIBLIOGRAFÍA:

- El mercado de la energía eólica en México, estudio realizado por Rafael Juan Martí, bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Mexico DF.
- Trabajo Fin de Master-UC3M: APORTE DE INERCIA Y CAPACIDAD DE REGULACION DE LOS AEROGENERADORES Y PARQUES EOLICOS por Ing. José Javier Jiménez Márquez.





---

*Este informe es un servicio de la Asociación Empresarial Eólica (AEE) para sus asociados quedando prohibida la reproducción o divulgación total o parcial a terceros. Su contenido se basa en información pública, no suponiendo ninguna garantía sobre el resultado de los mismos, por lo tanto AEE no se hace responsable de las consecuencias de cualquier uso que se pueda hacer de la información elaborada por AEE.*

---